

MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

-TIG-



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID



TRABAJO FIN DE MÁSTER

ACTUALIZACIÓN DE LA REPRESENTACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

ALUMNA: BLANCA GARCÍA PUERTA

TUTORA U.C.M.: NURIA ANDRÉS DE PABLO

TUTORA CIEMAT: CRISTINA TRUEBA ALONSO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	ÁREA DE ESTUDIO	5
1.3	OBJETIVO	6
2	METODOLOGÍA.....	7
2.1	DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA PARCIALES Y TOTALES	8
2.1.1	Índice de Infiltración: IF.....	9
2.1.2	Índice de Capacidad de Retención Hídrica: IH	10
2.1.3	Índice de Retención Físico-Química: IFQ.....	11
2.1.4	Índices por contenido en potasio (K) y calcio (Ca): IK e ICa	13
2.1.5	Índices totales.....	14
2.2	CARACTERÍSTICAS DEL MAPA BASE PARA LA REPRESENTACIÓN DE LA VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES.....	16
2.3	TRATAMIENTO Y PREPARACIÓN DEL MAPA Y LA BASE DE DATOS DE SUELOS EUROPEA	23
2.3.1	Organización de la información del mapa de suelos europeos.....	23
2.3.2	Determinación del CODSUELO para los polígonos de suelos del mapa	28
2.4	TRATAMIENTO Y PREPARACIÓN DE DATOS DE LOS PERFILES DE SUELOS ESPAÑOLES.....	30
2.4.1	Verificación de las coordenadas de localización de los perfiles de suelos	31
2.4.2	Determinación del CODSUELO para los perfiles de suelos	41
2.5	RELACIÓN ENTRE LOS PERFILES DE SUELOS Y EL MAPA DE SUELOS.....	42
3	RESULTADOS	46
3.1	REPRESENTACIÓN DE LOS DIFERENTES CODSUELO DEFINIDOS	46
3.2	REPRESENTACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD EN EL NUEVO MAPA DE SUELOS	47
4	DISCUSIÓN	50
4.1	COMPARACIÓN VISUAL DE LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LAS DOS EDICIONES.....	50
4.2	OTRAS POSIBLES METODOLOGÍAS PARA LA REPRESENTACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA.....	53
4.2.1	Unión espacial entre el mapa de suelos y los perfiles	54
4.2.2	Interpolación espacial de los valores de vulnerabilidad de los perfiles	57
4.3	ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PERFILES DE SUELOS	59
4.3.1	Análisis de la influencia de la calidad de la base de datos de los perfiles	63
5	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	68

6	REFERENCIAS	76
7	RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS	78
8	ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	82

ANEXOS

ANEXO I.	LISTADO DE PAÍSES DEL SGDBE V.4 (EC, 2003)	85
ANEXO II.	NOMENCLATURA DE LA LEYENDA FAO-UNESCO 1974 MODIFICADA PARA EL MAPA SGDBE V.3 (EC, 1995)	87
ANEXO III.	MAPA DE SUELOS SEGÚN LA LEYENDA FAO-UNESCO 1974 MODIFICADA PARA EL MAPA SGDBE V.3 (EC, 1995)	89
ANEXO IV.	MAPA LITOLÓGICO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA, SEGÚN EL SGDBE, V.3 (EC, 1995)...	91
ANEXO V.	TABLA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A CADA SMU DEL MAPA SGDBE V.3.....	93
ANEXO VI.	MAPA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A CADA SMU DEL MAPA SGDBE V.3	98
ANEXO VII.	TABLA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A LOS PERFILES DE SUELOS DE LA BASE DE DATOS.....	100
ANEXO VIII.	MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES. EDICIÓN 2014.....	104
ANEXO IX.	MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. EDICIÓN 2014.....	111
ANEXO X.	GRÁFICAS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LOS VALORES DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD	119
ANEXO XI.	VALORES DE LA MODA DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD CALCULADOS A PARTIR DE LOS PERFILES DE SUELOS, EN FUNCIÓN DEL CODSUELO AL QUE PERTENECEN	125
ANEXO XII.	MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES DE LA EDICIÓN DEL AÑO 2000 (Trueba, y otros, 2000a)	128
ANEXO XIII.	MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ELABORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE UNIÓN ESPACIAL	136
ANEXO XIV.	MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ELABORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN.....	138
ANEXO XV.	INFORME DE RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA AVERAGE NEAREST NEIGHBOR DE ARCMAP, PARA LA BASE DE DATOS DE PERFILES DE SUELOS ACTUAL	140
ANEXO XVI.	INFORME DE RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA AVERAGE NEAREST NEIGHBOR DE ARCMAP, PARA PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE PERFILES DE SUELOS.....	142
ANEXO XVII.	ZONAS DE PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES REPRESENTADAS SOBRE LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES.....	144

1 INTRODUCCIÓN

El CIEMAT (Centro de Investigaciones, Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), Organismo Público de Investigación perteneciente al Ministerio de Economía y Competitividad, centra su actividad en el estudio y desarrollo de tecnologías energéticas, así como en los aspectos medioambientales o tecnológicos asociados a la producción, transporte o consumo de energía. En este ámbito, tiene una larga trayectoria en la I+D relacionada con la protección radiológica y sus principales áreas asociadas y, específicamente, mantiene una línea de investigación relacionada con la Protección Radiológica en situaciones de emergencia y post-accidente que comenzó a raíz del accidente de Palomares (Almería, 1966).

Entre las principales actividades en este área se han incluido, desde sus inicios, el estudio y análisis de los criterios de Protección Radiológica aplicables a las situaciones de accidente, el uso de modelos de predicción para evaluar las consecuencias, radiológicas y no radiológicas, y las respuestas a las posibles actuaciones de restauración o remediación, junto con el desarrollo e implementación de metodologías para el análisis de las estrategias de intervención.

Actualmente, CIEMAT es miembro activo de la Plataforma Europea NERIS (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery), creada en el año 2010 (Plataforma NERIS) y formada por 37 organizaciones de 20 países, cuya misión, es *“establecer un foro para el diálogo y el desarrollo metodológico entre todas las organizaciones y asociaciones europeas que participan en la toma de decisiones respecto a las acciones de protección en caso de emergencia nuclear y radiológica y la recuperación en Europa”*. (Plataforma NERIS). Bajo ella se han promovido proyectos de investigación del 7º Programa Marco Europeo en los que CIEMAT participa.

El presente trabajo se enmarca en las líneas prioritarias de la Plataforma encaminadas a mejorar el proceso de toma de decisiones mediante el desarrollo e implementación de herramientas de apoyo específicas y particularizadas a las características nacionales.

1.1 Antecedentes

A raíz de las pruebas de armamento nuclear llevadas a cabo en las décadas de los 50 y 60 se llevaron a cabo en todo el mundo numerosos proyectos para estudiar la disposición de los contaminantes radiactivos y su comportamiento en el medio ambiente.

Los estudios se intensificaron tras el accidente de la central nuclear de Chernobyl (Ucrania), el 26 de abril de 1986. En la figura 1 se muestra la distribución del depósito del Cs137 en las zonas afectadas por el accidente de Chernobyl (Office for Official Publications of the European Communities, 1998).

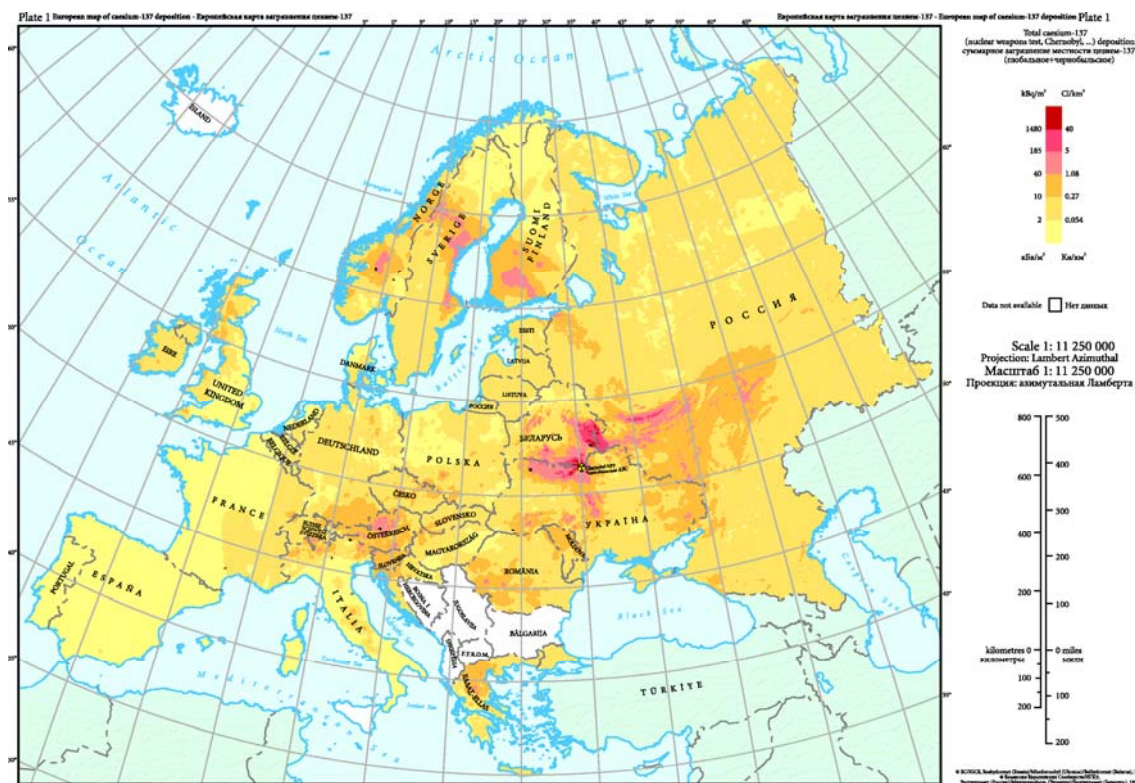


Figura 1.- Mapa de distribución de los depósitos de Cs137 tras el accidente de Chernobyl. (Office for Official Publications of the European Communities, 1998).

Entre los estudios realizados destacan los encaminados a ampliar el conocimiento de los contaminantes radiactivos en el suelo, estimar el impacto radiológico y definir las técnicas de recuperación más adecuadas, en la fase de post-emergencia nuclear para reducir el impacto y volver a la situación de contaminación previa.

Entre los resultados obtenidos se observó que, en el caso específico de los suelos, el comportamiento de los radionucleidos está fuertemente ligado a las propiedades de éstos.

En este sentido, los suelos de la Península Ibérica, frente a los suelos del resto de Europa, son en general suelos mucho más minerales y con menor contenido en materia orgánica. Este hecho hace que el comportamiento de los contaminantes radioactivos en los suelos tenga variaciones con respecto a su comportamiento en suelos más orgánicos. Por ello, es de especial relevancia el estudio de las particularidades de los suelos de esta región y el tratamiento de los datos de forma específica, para poder extraer conclusiones que se ajusten a las características intrínsecas de la zona.

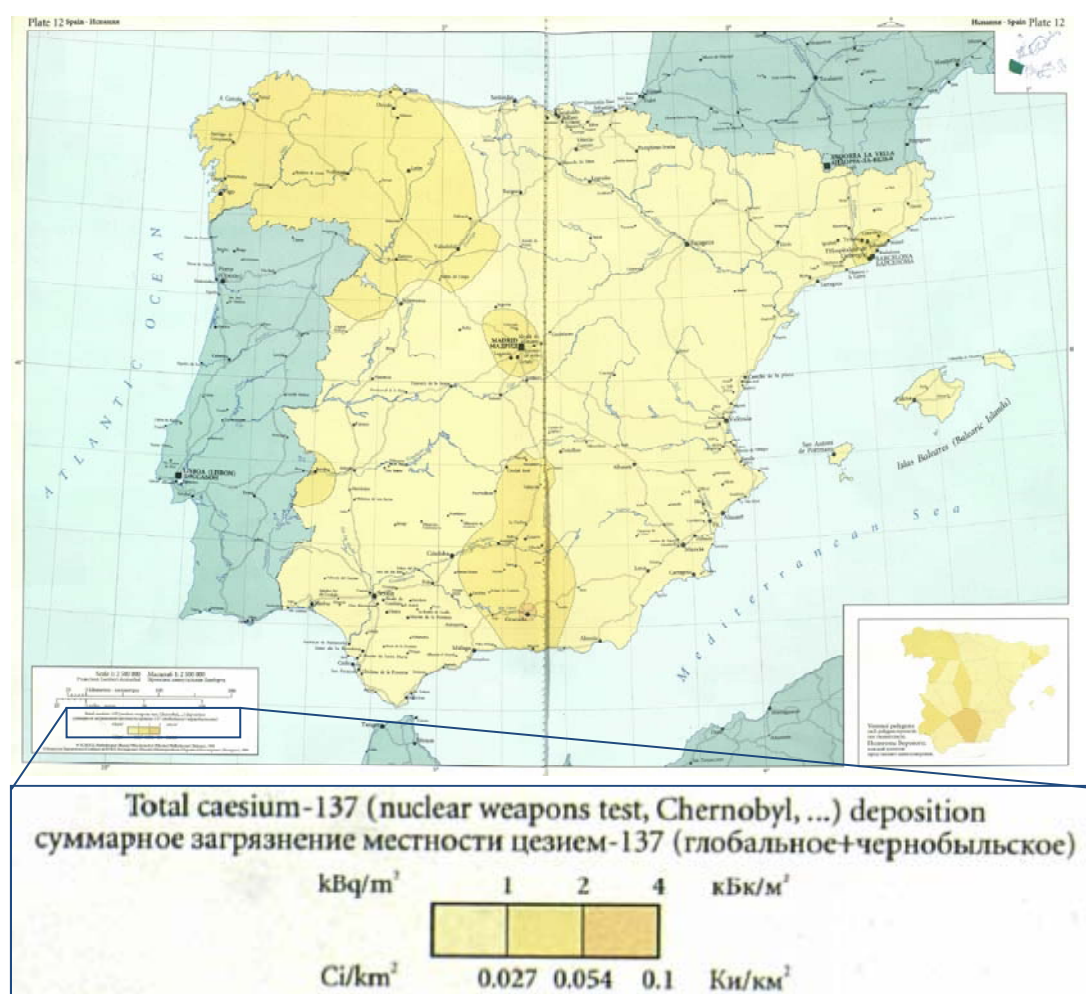


Figura 2.- Depósito de Cs137 en España. Atlas del Depósito de Cesio en Europa Después del Accidente de Chernobyl (Office for Official Publications of the European Communities, 1998).

Dado que el territorio peninsular no fue afectado de forma importante por la disposición de la contaminación en aquel accidente, tal y como puede observarse en el mapa de depósito de Cs137 en España de la figura 2 (Office for Official Publications of the European Communities, 1998), el comportamiento de los radionucleidos en los suelos de la Península Ibérica no fue estudiado con el mismo detalle que en el resto de Europa.

Así, en el año 1996, entre el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el CIEMAT se puso en marcha el Proyecto: “Caracterización de la Vulnerabilidad Radiológica de los Suelos en Caso de Accidente Nuclear Grave en Relación con la Vegetación Natural y los Cultivos” (Acuerdo CSN/CIEMAT nº 96/358., 1996), financiado por el CSN y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), el cual se enmarcaba dentro del proyecto “Protección Radiológica por Intervención del Departamento de Impacto Ambiental de la Energía” (CIEMAT). La culminación de estos trabajos se plasmó en la publicación del CIEMAT de Trueba et al. (2000a), donde los autores establecen una metodología para la estimación y posterior representación de la vulnerabilidad de los suelos peninsulares españoles teniendo en cuenta las propiedades edafológicas de los suelos de la región, concretamente aquellas que determinan el comportamiento de los radionucleidos en cada tipo de suelo.

El objetivo final de este proyecto (Trueba, y otros, 2000a) era la representación de la vulnerabilidad de los suelos peninsulares españoles para ser utilizados como herramienta para predecir cualitativamente la potencialidad éstos para retener o para hacer biodisponibles el Cs137 y Sr90 depositados en ellos. A partir de esta potencialidad se establecieron diez índices parciales de vulnerabilidad radiológica de los suelos y cuatro índices totales y, como resultado final, y se obtuvieron, para la España peninsular, los mapas de representación de dichos índices de vulnerabilidad, definidos en la metodología (Trueba, y otros, 2000a).

Se seleccionaron estos radionucleidos ya que, como se cita en la publicación, *“son los que más contribuyen a la dosis al hombre, tanto por irradiación externa, como a través de la cadena alimentaria por ingestión de productos agrícolas contaminados. El riesgo generado por estos radionucleidos se debe a una serie de propiedades características de los mismos como son: unos periodos de semidesintegración¹ de 30 y 28 años para el Cs137 y el Sr90, respectivamente, una solubilidad potencial alta, así como una gran movilidad en medio acuoso, y una elevada biodisponibilidad debido a su semejanza metabólica con los nutrientes potasio (K) y calcio (Ca) para el cesio (Cs) y el estroncio (Sr), respectivamente”* (Trueba, y otros, 2000a).

¹ El periodo de semidesintegración de un elemento es el tiempo en el que su número de átomos se reduce a la mitad. El periodo de semidesintegración del Cs137 es de 30 años y el del Sr90 es de 28 años. Radiaciones Ionizantes. Instalaciones Radiactivas y de Rayos X (Tanarro, 1986).

Dicha representación se realizó sobre la base de los recintos establecidos en el Soil Map of the European Communities 1:1 million (CEC, 1985), para la España peninsular, en el que la nomenclatura de los suelos individuales estaba basada en la leyenda FAO-UNESCO 1974, con ciertas modificaciones aplicadas al mapa de suelos en su edición de 1985, tal y como se recoge en Trueba, 2000a². Los datos empleados para calcular los índices de vulnerabilidad radiológica de los recintos fueron extraídos de una recopilación de perfiles de suelos reales, de los que se contaba con la caracterización de los suelos a partir de datos de campo y de ensayos de laboratorio. Esta recopilación de perfiles de suelos dio como resultado la publicación, por parte del CIEMAT entre los años 1998 y 1999, de la: Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles (Trueba, y otros, 2000b).

De este proyecto en la actualidad se cuenta con la edición impresa de la publicación citada (Trueba, y otros, 2000a), pero no con los archivos digitales de los mapas de representación de los índices de vulnerabilidad, elaborados en formato ráster mediante el Sistema de Información Geográfica IDRISI para Windows 1.0, aunque sí existen algunos archivos digitales que contienen tablas, en formato xls, con la base de datos de los resultados obtenidos entonces.

1.2 Área de estudio

Este trabajo se centra en la Península Ibérica, puesto que el trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación en el que el CIEMAT es el promotor.

El que no sólo se haya llevado a cabo la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos en el territorio español, si no que se haya incluido también el territorio de Portugal se debe, por un lado a la similitud de los tipos de suelos que existen en ese territorio en relación con los suelos españoles y, por otro en previsión de que este trabajo sirva como punto de partida para el desarrollo de otros proyectos de forma conjunta entre España y Portugal.

Así, la zona de estudio tiene una superficie total aproximada de 583.000 km² y se encuentra entre los 36° y los 44° de latitud Norte y entre los 10°W y los 3°E de longitud.

² Con motivo de las variaciones entre la clasificación de suelos empleada en el mapa de suelos y la leyenda de suelos FAO-UNESCO 1974, se han tenido que hacer ciertas asimilaciones entre unas clases de suelos de los perfiles en otras del mapa. Las variaciones encontradas entre una clasificación y otra se recogen en Trueba et al, 2000a.

1.3 **Objetivo**

El objetivo de este trabajo es la actualización de la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares considerando el nuevo mapa de suelos europeos (EC, 1995) y ampliar la representación de la vulnerabilidad a Portugal, mantenido la metodología de cálculo de los índices de vulnerabilidad radiológica de los suelos, propuesta en la anterior edición de los mapas de vulnerabilidad (Trueba, y otros, 2000a).

La representación de las categorías de suelos se realizará, al igual que se hizo en la edición previa (Trueba, y otros, 2000a), en función de la vulnerabilidad radiológica de los suelos para los radionucleidos Cs137 y Sr90, siguiendo la metodología implementada en dicha edición.

En la presente edición, el mapa base para la representación de la vulnerabilidad es el Soil Geographical Data Base of Europe, version 3, scale 1:1 million, (SGDBE, v.3) (EC, 1995). De esta forma, se cuenta con una base mucho más precisa con la que poder establecer las medidas de protección radiológica necesarias para evitar que la contaminación radiactiva pueda afectar a la población tras un eventual accidente nuclear, tanto por riesgo de irradiación externa (IE), como por el riesgo de entrada de los radionucleidos en la cadena alimentaria (CA).

A modo de ejemplo, uno de los catorce mapas de los índices de vulnerabilidad radiológica obtenidos en este trabajo se comparará con la cartografía presentada en el año 2000 (Trueba, y otros, 2000a). Si bien tan sólo se podrán evidenciar diferencias en cuanto al resultado de los valores del índice y no en cuanto al tipo de suelo, pues se carece de ese dato en los mapas del año 2000.

También se analizará la distribución espacial de los valores de los distintos índices de vulnerabilidad en el territorio peninsular.

Por otro lado, se validará la metodología de representación empleada, comparándola con la vulnerabilidad radiológica obtenida a partir de otros métodos de representación, para lo cual se tomarán como ejemplo dos de los diez índices parciales de vulnerabilidad (IK_CA e ICa_CA), utilizando uno de ellos para mostrar las diferencias obtenidas con la aplicación de las otras metodologías de representación.

Con todo ello, se determinarán las fortalezas y debilidades del método de representación propuesto por Trueba et al, 2000a y de los otros métodos considerados.

Respecto a la base de datos de los perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b), se llevará a cabo la representación espacial de los perfiles de suelos, para lo cual se elaborará el correspondiente mapa de perfiles de suelos y su base de datos asociada. Ello implica la necesidad de realizar una verificación de los datos para la correcta georreferenciación de los perfiles de suelos y, en su caso, la reasignación (o asignación, en algunos casos) de las coordenadas correctas de los mismos.

Además, se realizará un estudio de la distribución espacial de los perfiles de suelos en la España peninsular, detectando las áreas con déficit de perfiles frente a otras en las que existe una densidad de perfiles muy elevada. Los resultados de este estudio de distribución espacial se presentarán en relación con las zonas de planificación de las medidas de protección de las Centrales Nucleares españolas actualmente operativas y de la instalación del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de Villar de Cañas, que está en fase de construcción.

De cara a acciones futuras, se plantean propuestas para completar la base de datos de perfiles de suelos y poder contar así con perfiles en los lugares donde actualmente no se tienen datos, con el fin de proporcionar una mejor representatividad de la base de datos y que los perfiles queden distribuidos de forma homogénea en toda la superficie peninsular española, todo ello encaminado a la mejora de la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos, centrándose, en este caso, en los suelos peninsulares españoles.

2 METODOLOGÍA

Como se ha indicado anteriormente, el presente trabajo está incluido en una de las líneas de actuación prioritarias de la Plataforma NERIS, en las que participa como miembro el CIEMAT, encaminada a proporcionar herramientas para la toma de decisiones en caso de accidente nuclear y consiste en actualizar la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles, ampliando la representación de esta vulnerabilidad a toda la Península Ibérica.

Puesto que se trata de una actualización de los mapas de vulnerabilidad editados en el año 2000 por Trueba et al., la base metodológica a seguir para la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos será la misma que en la primera edición de los mapas.

En este apartado se describe la metodología aplicada para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad radiológica de los suelos, en cuanto a la aplicación de la base metodológica para el cálculo de los índices de vulnerabilidad, respecto al tratamiento de la base de datos de perfiles de suelos y en lo que se refiere al mapa de suelos (EC, 1995) tomado como base para la representación.

2.1 Determinación de los índices de vulnerabilidad radiológica parciales y totales

Los índices de vulnerabilidad radiológica que se tuvieron en cuenta en la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica (Trueba, y otros, 2000a) (y que también se tendrán en cuenta en la presente edición) se calcularon a partir de los datos de los 1.655 perfiles de suelos españoles recogidos en la base de datos recopilada (Trueba, y otros, 2000b).

Los criterios aplicados para la obtención de los índices de vulnerabilidad parciales y los índices de vulnerabilidad totales (los que resultan de la combinación de los índices parciales) se explican de forma resumida a lo largo de este apartado y han sido extraídos de la publicación ya citada de Trueba et al (2000a).

La vulnerabilidad radiológica de los suelos se considera, en el caso que nos ocupa, como la potencialidad para retener o a hacer disponibles al medio ambiente los radionucleidos Cs137 y Sr90.

Existen dos vías de riesgo diferentes para que estos radionucleidos lleguen a afectar al ser humano: la irradiación externa (desde ahora IE), al quedar los radioisótopos en el horizonte superficial, y la ingestión, es decir, que los contaminantes lleguen a la cadena alimentaria (de aquí en adelante CA). De esta forma un mayor índice de vulnerabilidad del suelo al riesgo IE implica que éste retiene y fija más el radionucleido en los componentes del suelo del horizonte superficial. Por otro lado, un mayor índice de vulnerabilidad del suelo al riesgo CA implica una menor capacidad de fijación y una mayor concentración (en forma intercambiable) en los componentes del suelo en la zona de mayor actividad radicular.

Para definir los índices respecto a la IE se tuvieron en consideración las características y parámetros del horizonte superficial del suelo (cuyo espesor varía para cada perfil de suelo considerado), mientras que para los índices referidos a la CA se tuvieron en cuenta los primeros 60 cm, por considerar que era hasta esa profundidad hasta donde se da el mayor desarrollo radicular de las plantas potencialmente consumibles por el hombre o por el ganado.

La mayor o menor potencialidad para la presencia de los radionucleidos en las dos vías de exposición depende de las características físico-químicas de los radionucleidos y de las del suelo en el que éstos quedan depositados. Por lo tanto, los factores edafológicos que se consideraron relevantes para estimar la vulnerabilidad radiológica de los suelos fueron la capacidad de infiltración, la capacidad de retención hídrica y la capacidad de retención físico-química (en este caso respecto al Cs137 y al Sr90 por separado), además del contenido en K y Ca intercambiables en el suelo (estos dos últimos tan sólo para la vía de exposición CA).

Se establecieron cinco categorías de vulnerabilidad: de 1 a 5, siendo la vulnerabilidad mínima la identificada con 1, la vulnerabilidad baja con 2, la vulnerabilidad media con 3, la alta con 4 y la máxima con 5³.

A partir de estas premisas, para la representación de los índices de vulnerabilidad radiológica en la primera edición de los mapas (Trueba, y otros, 2000a) se desarrolló la metodología que se expone a continuación.

2.1.1 Índice de Infiltración: IF

La capacidad de infiltración: F, de un suelo se refiere a la velocidad con la que el agua es capaz de atravesar un suelo, medida en mm/h (Porta, y otros, 1999). Con este agua entrarán en el suelo otros elementos, disueltos o en suspensión, como los radionucleidos. Este parámetro está condicionado por la textura (porcentaje de cada una de las fracciones que conforman el suelo: arcilla, limo y arena) y la estructura del suelo (que se refiere a la forma en la que las partículas de un suelo se unen entre sí para formar lo que se denominan agregados y que pueden ser más o menos estables).

La capacidad de infiltración será mayor cuanto más gruesa sea la textura del suelo (pues existirá menor superficie activa de las partículas que lo forman y mayor porosidad) y también será mayor cuanto más fuerte y estable sea la estructura del mismo. Así, se establecen, para el riesgo de IE y de CA las siguientes categorías de infiltración (C_f) y los correspondientes valores del índice de vulnerabilidad para cada vía de exposición:

³ En esta segunda edición de los mapas de vulnerabilidad radiológica se han mantenido tanto las categorías establecidas para la primera edición, como la nomenclatura y los colores identificativos de cada una, de tal forma que es posible comparar visualmente los mapas de ambas ediciones.

C_F , SEGÚN LOS RANGOS DE F (mm/h)	ÍNDICES PARCIALES IF POR RIESGO DE:	
	IRRADIACIÓN EXTERNA: IF_IE	CADENA ALIMENTARIA: IF_CA
$C_F = 1: 0,0 < F \leq 1,0$	5	1
$C_F = 2: 1,0 < F \leq 5,0$	4	2
$C_F = 3: 5,0 < F \leq 20,0$	3	3
$C_F = 4: 20,0 < F \leq 50,0$	2	4
$C_F = 5: F > 50,0$	1	5

Tabla 1.- Categorías de infiltración e índices de infiltración correspondientes.

Como queda reflejado en la tabla 1, una mayor infiltración contribuye a que la irradiación externa sea menor, pero, por el contrario, favorece que los radionucleidos que pudieran estar asociados al agua infiltrada sean captados con ella por las plantas y, de ahí, entren en la cadena alimentaria.

2.1.2 Índice de Capacidad de Retención Hídrica: IH

La capacidad de retención hídrica de un suelo es *“la capacidad que presenta el suelo al almacenar y retener el agua infiltrada en los poros que forman su textura y su estructura”* (Trueba, y otros, 2000a). Este parámetro está relacionado con la porosidad, es decir los huecos que quedan entre las partículas del suelo, con la capacidad de campo, que se alcanza cuando el suelo contiene la mayor cantidad de agua posible y se ha eliminado toda el agua excedente por gravedad y los macroporos quedan ocupados por aire, y con la permeabilidad del suelo, que influye en la velocidad con la que el agua puede circular por el suelo. Por lo tanto, la textura y la estructura del suelo van a condicionar la capacidad de retención hídrica de un suelo y, partir de éstos, y teniendo en cuenta también la pendiente del terreno (en este caso la pendiente media de cada polígono de suelo cartografiado), se puede determinar la reserva máxima de agua admisible: R, para cada horizonte del suelo. La reserva máxima de agua admisible indica *“la capacidad de almacenar en 1 cm, lluvias que oscilan de 40 a 120 mm, suponiendo que la porosidad total (en % de volumen) varía en valores medios del 30 al 60%”* (Trueba, y otros, 2000a).

La reserva máxima de agua admisible de un suelo será mayor cuanto menor sean la porosidad y la permeabilidad y mayor sea la capacidad de campo.

En la tabla 2 se muestran los rangos atribuidos a cada categoría del índice de vulnerabilidad por la capacidad de retención hídrica, en función del valor de R para las dos vías de riesgo establecidas.

C _H , SEGÚN LOS RANGOS DE R (mm/cm)	ÍNDICES PARCIALES IH POR RIESGO DE:	
	IRRADIACIÓN EXTERNA: IH_IE	CADENA ALIMENTARIA: IH_CA
C _H = 1: R < 2,0	1	1
C _H = 2: 2,0 < R ≤ 3,0	2	2
C _H = 3: 3,0 < R ≤ 4,0	3	3
C _H = 4: 4,0 < R ≤ 5,0	4	4
C _H = 5: R > 5,0	5	5

Tabla 2.- Categorías según la reserva máxima de agua admisible e índices de capacidad de retención hídrica correspondientes.

Por lo tanto, un suelo es más vulnerable en cuanto a la retención hídrica frente al riesgo de irradiación externa, cuanto mayor es la reserva máxima de agua admisible, pues los radionucleidos que pudieran estar asociados a ese agua permanecen más tiempo en el suelo irradiando, y, por otro lado, el riesgo de acceso a la cadena alimentaria será mayor cuanto mayor sea la capacidad de retener el agua, pues los radionucleidos incorporados en el agua tendrán una mayor probabilidad de ser absorbidos por el sistema radicular de las plantas.

2.1.3 Índice de Retención Físico-Química: IFQ

Los parámetros de un suelo que determinan su capacidad para retener físico-químicamente un radionucleido son la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el pH.

La CIC de un suelo es *“la propiedad que presentan aquellos componentes del mismo, precisamente por tener superficies cargadas negativamente, para adsorber cationes de la fase líquida (por formación de complejos de superficie esférica externa), desadsorbiendo al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes (por destrucción de dichos complejos)”* (Trueba, y otros, 2000a). Esta propiedad depende de la cantidad y del tipo de minerales de arcilla (caolinita, illita, clorita, etc.) y de la cantidad de materia orgánica que estén contenidos en cada horizonte del suelo (Rosa, 2008).

El pH corresponde a la concentración de iones hidrógeno en una solución e indica el grado de acidez de un suelo (aunque no corresponda a la acidez total del mismo). La importancia del pH radica en su gran influencia en cuanto a la disponibilidad de terminados elementos, lo que influye en la potencialidad de estos para ser captados por las plantas, lo que se denomina biodisponibilidad (Trueba, y otros, 2000a). De este modo, cuanto menor es la acidez, también disminuye la solubilidad de los elementos.

Dado que el comportamiento del Cs137 y el Sr90 son diferentes desde el punto de vista físico-químico, el cálculo del índice de vulnerabilidad parcial con respecto a la retención físico-química se ha realizado teniendo en cuenta los parámetros que más influyen en cada uno de ellos. Así, se han definido el índice IFQCs y el IFQsSr, por separado.

El comportamiento del radiocesio se ve muy condicionado, sobre todo, por la presencia del tipo de arcillas: si son expansivas (como son las vermiculitas y montmorillonitas) o no expansivas y, dentro de estas, si son ilitas o no, por lo que el parámetro que más influye en la retención físico-química del Cs137 será la CIC. Así, cuanto mayor es el contenido en ilitas, que retienen el radiocesio, se reduce su biodisponibilidad. Por otro lado, el pH del suelo será el parámetro que más influya en la retención físico-química del Sr90; de tal forma que *“suelos con bajos valores de pH presentan una máxima solubilidad del Sr90, una mayor biodisponibilidad y por lo tanto una mínima retención en la fase sólida”*. (Trueba, y otros, 2000a).

En las tablas 3 y 4 se reflejan los índices de vulnerabilidad según la retención físico-química del radiocesio y del radioestroncio en función del tipo de partículas contenidas en el suelo (C_{SUELO}) para el Cs137 y según el pH para el Sr90.

C_{CIC}	ÍNDICES PARCIALES IFQCs POR RIESGO DE:	
	IRRADIACIÓN EXTERNA: IFQCs_IE	CADENA ALIMENTARIA: IFQCs_CA
$C_{\text{CIC}} = 1$: Arenoso	1	5
$C_{\text{CIC}} = 2$: Orgánico	2	4
$C_{\text{CIC}} = 3$: Arcilloso tipo 1:1 ⁴	3	3
$C_{\text{CIC}} = 4$: Arcilloso tipo 2:1 ⁴ expansivas (no ilitas)	4	2
$C_{\text{CIC}} = 5$: Arcilloso tipo 2:1 ⁴ no expansivas (ilitas)	5	1

Tabla 3.- Categorías según la CIC e índices de retención físico-química correspondientes, para el Cs137.

Según lo indicado anteriormente la vulnerabilidad de un suelo frente a la irradiación externa será mayor cuanto más cantidad de ilitas contenga, pues retendrá más el radiocesio y, por el contrario, en ese caso la vulnerabilidad frente a la entrada en la cadena alimentaria será menor, pues el Cs137 queda fijado en la estructura mineral en forma no intercambiable.

⁴ Arcillas tipo 1:1 son aquellas que su organización espacial consiste en una capa tetraédrica unida a una octaédrica (TO), correspondientes al grupo de las kanditas. La estructura tipo 2:1 consiste en una capa octaédrica cubierta a la manera de un *sandwich* por dos capas tetraédricas (TOT), y dentro de éstas están los grupos de las micas (al que pertenecen las ilitas), de las esmectitas y de las vermiculitas. Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a Escala 1:1.000.000. (Ayala, y otros, 1986).

C_{pH}	ÍNDICES PARCIALES IFQsr POR RIESGO DE:	
	IRRADIACIÓN EXTERNA: IFQsr_IE	CADENA ALIMENTARIA: IFQsr_CA
$C_{pH} = 1: pH \leq 4,5$	1	5
$C_{pH} = 2: 4,5 < pH \leq 5,5$	2	4
$C_{pH} = 3: 5,5 < pH \leq 6,5$	3	3
$C_{pH} = 4: 6,5 < pH \leq 7,5$	4	2
$C_{pH} = 5: pH > 7,5$	5	1

Tabla 4.- Categorías según el pH (Porta, y otros, 1999) e índices de retención físico-química correspondientes, para el Sr.

Con las consideraciones expuestas anteriormente y tal y como puede apreciarse en la tabla 4, la vulnerabilidad de un suelo frente a la irradiación externa, para este índice, será mayor cuanto menos ácido sea, pues habrá una mayor retención del Sr90 en la fase sólida y mínima en la líquida, por lo que no podrá migrar a horizontes más profundos. Por el contrario, la vulnerabilidad en relación con la cadena alimentaria será mayor cuanto más ácido sea el suelo, pues el Sr90 estará más biodisponible.

2.1.4 Índices por contenido en potasio (K) y calcio (Ca): IK e ICa

El K y el Ca son elementos con un comportamiento similar a los radionucleidos de Cs137 y Sr90, respectivamente, por lo que si están en un suelo como elementos intercambiables (es decir, si contribuyen a que la CIC de un suelo sea elevada), el Cs137 y el Sr90 competirán con ellos para formar parte de la fase sólida-líquida (como elemento fijo intercambiable) y/o líquida (como elementos biodisponible) del suelo.

El riesgo que está directamente relacionado con el contenido en K y Ca en los suelos es el de entrada en la cadena alimentaria, por lo tanto, no se considerará el de irradiación externa. De tal forma que la presencia de altas concentraciones de K evita que el Cs137 sea absorbido por las plantas, del mismo modo que altas concentraciones de Ca dificultan el que el Sr90 sea absorbido por las plantas, con lo que la vulnerabilidad, en ambos casos, será baja.

En las tablas 5 y 6 se muestran las categorías de suelos en función de las concentraciones de K y Ca en el suelo y los valores de los índices de vulnerabilidad para los dos radionucleidos considerados.

C_K , SEGÚN EL CONTENIDO EN K (cmol/kg)	ÍNDICE PARCIAL IK POR RIESGO EN CADENA ALIMENTARIA:
	IK_CA
$C_K = 1: K < 0,10$	5
$C_K = 2: 0,10 < K \leq 0,25$	4
$C_K = 3: 0,25 < K \leq 0,50$	3
$C_K = 4: 0,50 < K \leq 1,00$	2
$C_K = 5: K > 1,00$	1

Tabla 5.- Categorías e índices según el contenido en K.

C_{Ca} , SEGÚN EL CONTENIDO EN Ca (cmol/kg)	ÍNDICE PARCIAL ICa POR RIESGO EN CADENA ALIMENTARIA:
	ICa_CA
$C_{Ca} = 1: Ca < 1$	5
$C_{Ca} = 2: 1 < Ca \leq 2$	4
$C_{Ca} = 3: 2 < Ca \leq 5$	3
$C_{Ca} = 4: 5 < Ca \leq 10$	2
$C_{Ca} = 5: Ca > 10$	1

Tabla 6.- Categorías e índices según el contenido en Ca.

2.1.5 Índices totales

Los índices expuestos hasta el momento corresponden a los índices de vulnerabilidad parciales, asociados cada uno a las propiedades del suelo y/o de los radionucleidos. La combinación de estos índices parciales da como resultado los índices de vulnerabilidad totales. Así, se establece un índice de vulnerabilidad total para cada radionucleido y para cada vía de exposición al mismo. Por lo tanto, se obtienen cuatro índices de vulnerabilidad radiológica totales.

Para la primera edición de los mapas de vulnerabilidad (Trueba, y otros, 2000a), al igual que para esta edición, se consideró que la contribución a los índices de vulnerabilidad totales, tanto para la irradiación externa, como para la cadena alimentaria, era la misma para todos, a pesar de que otros autores dan un mayor peso a unos parámetros que a otros a la hora de determinar la vulnerabilidad global.

De este modo los índices totales, para cada radionucleido y para cada vía de riesgo son los siguientes:

Índices para irradiación externa:

1. $T_{Cs_IE} = IF_IE + IH_IE + IFQCs_IE$. Rango de valores posibles: 3 – 15.
2. $T_{Sr_IE} = IF_IE + IH_IE + IFQSr_IE$. Rango de valores posibles: 3 – 15.

Índices para cadena alimentaria:

3. $T_{Cs_CA} = IF_CA + IH_CA + IFQCs_CA + IK_CA$. Rango de valores posibles: 4 – 20.
4. $T_{Sr_CA} = IF_CA + IH_CA + IFQSr_CA + ICa_CA$. Rango de valores posibles: 4 – 20.

Al igual que para los índices de vulnerabilidad parciales, se han establecido cinco categorías de vulnerabilidad para los índices totales. Por ello, es preciso reclasificar los resultados obtenidos en los sumatorios realizados para la obtención de cada índice de vulnerabilidad total. Los criterios para la reclasificación de los valores de los índices totales son los que se muestran en las tablas 7 y 8 (Trueba, y otros, 2000a).

RANGOS DE VALORES OBTENIDOS EN EL SUMATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES TOTALES DE IRRADIACIÓN EXTERNA	RECLASIFICACIÓN EN CINCO CATEGORÍAS PARA T_IE
3 – 4	1
5 – 6	2
7 – 9	3
10 – 12	4
13 – 15	5

Tabla 7.- Rangos de valores para los índices de vulnerabilidad total para la irradiación externa y categorías asignadas.

RANGOS DE VALORES OBTENIDOS EN EL SUMATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES TOTALES DE CADENA ALIMENTARIA	RECLASIFICACIÓN EN CINCO CATEGORÍAS PARA T_CA
4 – 6	1
7 – 9	2
10 – 12	3
13 – 16	4
16 – 20	5

Tabla 8.- Rangos de valores para los índices de vulnerabilidad total para la cadena alimentaria y categorías asignadas.

Como ya se ha indicado anteriormente, los valores de los índices de vulnerabilidad calculados para cada perfil de suelos, utilizados para elaborar el nuevo mapa de vulnerabilidad radiológica, son los mismos que los empleados en la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica editado en el año 2000 (Trueba, y otros, 2000a).

Para conocer en qué niveles de estas capacidades y contenidos en K y Ca se encuentran los suelos españoles, se elaboró una base de datos muy extensa, con 1.655 perfiles de suelos completos, recopilados de la bibliografía (Trueba, y otros, 2000b) y con los datos necesarios para el cálculo de los índices de vulnerabilidad descritos, cuyo objetivo era la caracterización de los suelos peninsulares españoles. Como se verá más adelante, debido a las características del mapa de suelos (CEC, 1985) empleado en la primera edición de los mapas de vulnerabilidad, tan sólo 1.060 perfiles pudieron ser utilizados para la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles. Para la segunda edición de los mapas de vulnerabilidad de los suelos peninsulares se han podido utilizar 1.386 perfiles de suelos de la base de datos, lo cual supone una mejora considerable con respecto a los mapas de vulnerabilidad radiológica de la primera edición (Trueba, y otros, 2000a).

2.2 Características del mapa base para la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares

Para realizar el mapa de vulnerabilidad radiológica de los suelos en su primera edición (Trueba, y otros, 2000a) se empleó el Map Soil of the Commission of the European Communities (CEC, 1985). En 1986 se elaboró la base de datos de dicho mapa para incluirla en el programa CORINE (Coordination of Information on the Environment), que fue denominada Soil Geographical Data Base of Europe, version 1 (EC, 1986). Entre los años 1990 y 1991 la base de datos fue ampliada y se publicó la versión 2 del mapa de suelos (EC, 1991) para aportar información al proyecto DG VI MARS (Directorate General for Agriculture, Monitoring Agriculture by remote Sensing). A partir del proyecto MARS se creó el Soil and GIS Support Group, formado por un grupo de expertos, quienes recomendaron la participación activa de los países participantes para la ampliación de la base de datos.

La versión siguiente de la base de datos y del mapa de suelos es la versión 3, denominada: Soil Geographical Data Base of Europe (SGDBE), version 3, scale 1:1.000.000, (EC, 1995) en la que la aportación más significativa con respecto a la versión anterior del mapa es la ampliación de los datos relativos a la roca madre y la nomenclatura de los tipos de suelos según la nueva Base de Referencia Mundial para suelos (World Reference Base: WRB (IUSS, ISRIC, FAO, 2007)) que revisa la leyenda de suelos FAO-UNESCO 1990.

La extensión del mapa en su versión completa, la versión 4 (EC, 2003) incluye los siguientes países (ordenados por orden alfabético por su nombre en inglés): Albania, Austria, Bélgica, Bosnia Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Republica Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Yugoslavia. En esta versión los últimos países y regiones incluidos han sido los siguientes: Groenlandia, Bielorrusia, Moldavia, Rusia y Ucrania.

En la actualidad se está completando el mapa con nuevas regiones y países y que constituirá su quinta versión, la: Soil Geographical Database of Euro-Mediterranean Countries, escala 1.000.000, en la que se prevé incluir otros países mediterráneos en la base de datos y que son: Argelia, Chipre, Egipto, Jordania, Líbano, Malta, Marruecos, Palestina, Siria, Túnez, Turquía y la zona de Libia. En la figura 3 aparecen los países incluidos en las últimas versiones del mapa de suelos y los que quedan pendientes de ser incluidos. En el anexo I se incluye la relación de los países que aparecen en la figura 3 y las siglas que le corresponde a cada uno.

Para el presente trabajo se ha utilizado la versión 3 del SGDBE (EC, 1995) y no la última (EC, 2003), ya que la más moderna no aporta más información para la Península Ibérica, contiene errores topológicos en el archivo de datos espaciales y, además, los archivos de la versión 4 ocupan mucho más volumen de memoria, lo que ralentiza su manejo.

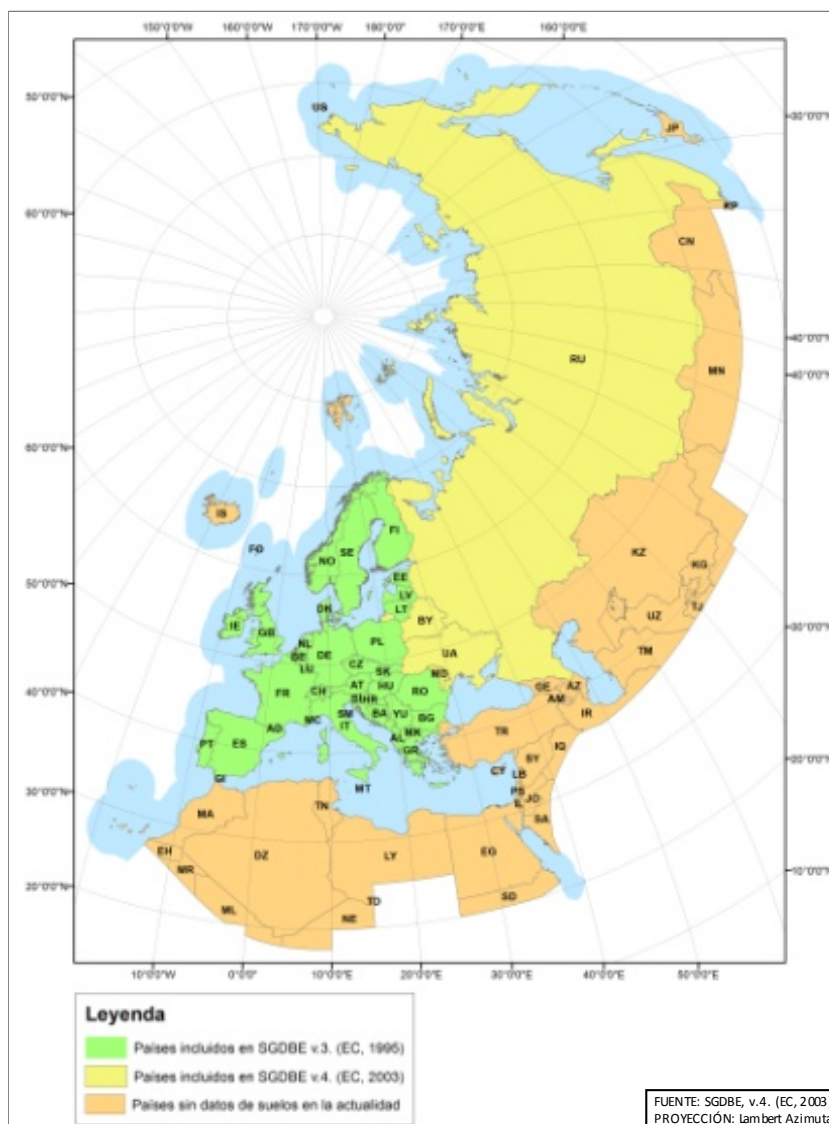


Figura 3.- Estado de la información aportada por los países participantes a la Base de Datos Geográfica de suelos en la actualidad.

Como se ha indicado anteriormente, el mapa de suelos (EC, 1995) que se toma como base para la representación de la vulnerabilidad radiológica de los mismos está elaborado a escala 1:1.000.000. Debido a la necesidad de incluir una gran extensión de territorio, existen problemas inherentes a este factor de escala a la hora de trabajar con porciones de territorio más pequeñas, como es este caso, en el que tan sólo se va a tener en cuenta la Península Ibérica.

Respecto al sistema de proyección elegido para la representación del mapa SGDBE v.3 (EC, 1995), es la proyección Lambert Azimutal, proyección que ha sido necesario transformar a UTM datum ETRS89 utilizando ArcMap, para ajustarse a una proyección adecuada a la representación de la Península Ibérica (RD 1071/2007, de 27 de julio).

Por otra parte, cabe señalar que, según las recomendaciones de la EC (Eupean Communities) a los países integrantes del proyecto para la elaboración del mapa de suelos (EC, 1995), la unidad mínima cartografiable debía ser de 25 km². No obstante, en la individualización de los diferentes polígonos de suelos de la Península Ibérica se ha detectado que se han delimitado algunos de ellos con menor superficie a la indicada⁵.

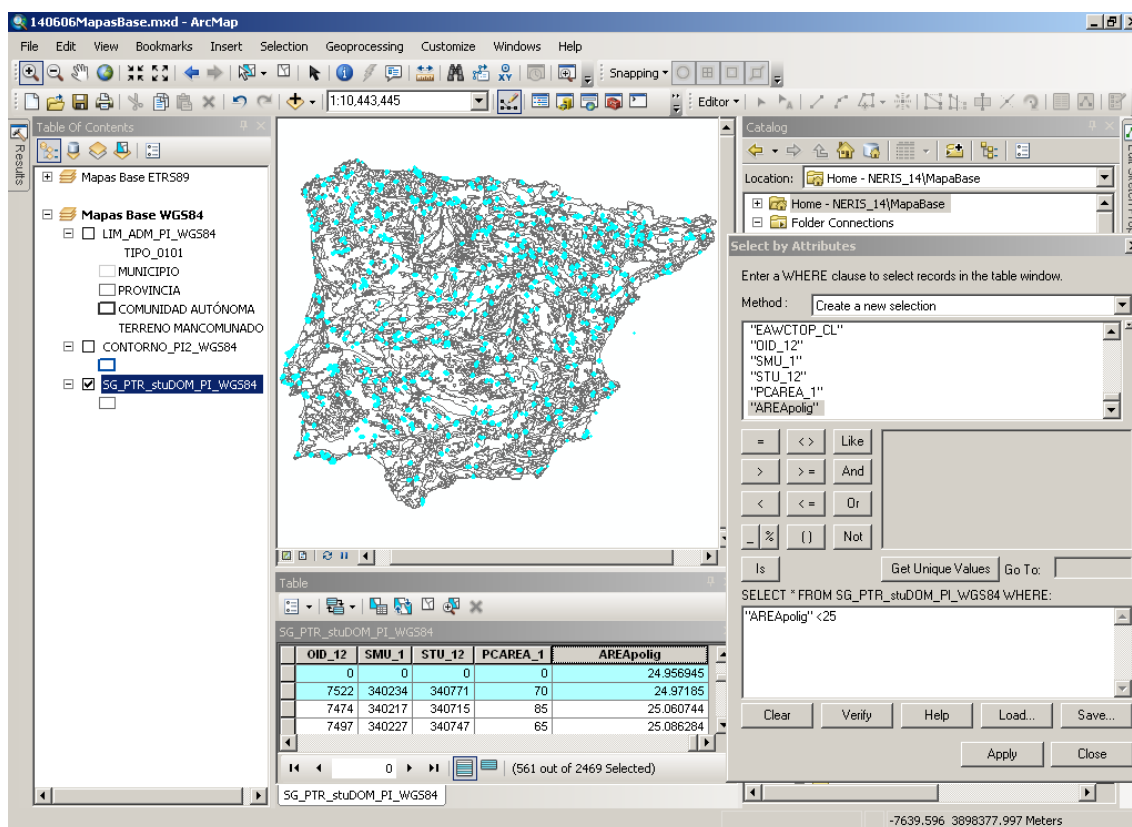


Figura 5.- Selección de polígonos con superficie inferior a 25 km².

Como puede verse en la figura 5, los polígonos con menos de 25 km² de superficie se reparten por toda la Península, además de por las pequeñas islas próximas a la costa, como puede apreciarse en la figura 6 en la que aparece en detalle la región de Galicia.

⁵ Para hacer esta comprobación se ha calculado de forma previa el área de todos los polígonos de la zona de estudios en una nueva columna de la tabla de datos del mapa.

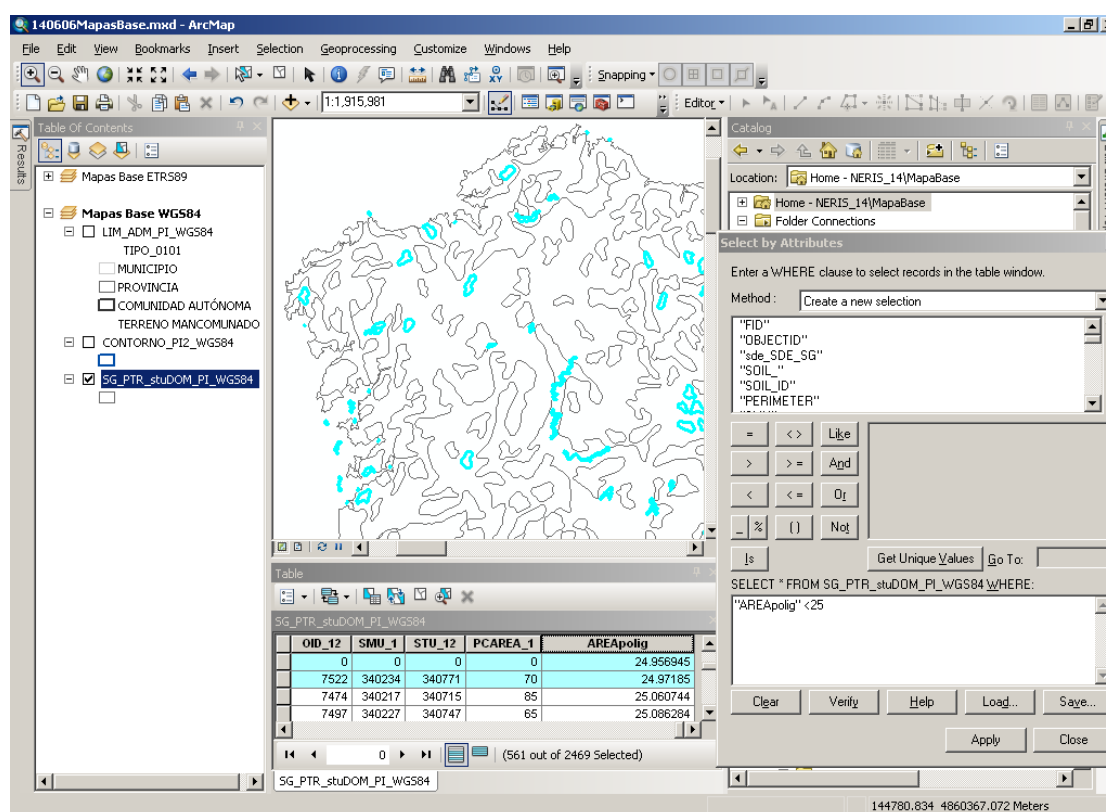


Figura 6.- Detalle de la selección en la que se pueden apreciar algunas islas con menos de 25km².

En una representación completa de la Península Ibérica, dado el tamaño de ésta, los recintos seleccionados se aprecian con ciertas dificultades, pero en una representación del mapa de suelos en la aparezcan todos los países que integran el proyecto, estos polígonos no son distinguibles al disminuir la escala de representación para representar el mapa completo.

En cuanto a la base de datos del mapa de suelos (CEC, 1985) utilizado en la primera edición de los mapas de vulnerabilidad radiológica (Trueba, y otros, 2000a), cabe señalar que tenía una definición menos precisa de los diferentes tipos de suelos que existen en la región del sur de Europa, puesto que no se cartografiaron algunos de ellos; este aspecto se ha mejorado substancialmente en el mapa de la SGDBE, v.3. (EC, 1995), empleado en el presente trabajo, pues se ha ampliado la relación de tipos de suelos existentes en la Península Ibérica.

En este punto es preciso aclarar ciertos términos que se emplean en el mapa de suelos para poder comprender mejor la organización de la información manejada, tanto en la edición de los mapas de vulnerabilidad del año 2000, como en la presente edición, pues en ambas esta organización es la misma.

En este sentido se hace necesario citar las relaciones establecidas en los mapas de suelos entre los elementos cartografiados y la base de datos de los propios mapas.

Así, los polígonos de suelos cartografiados se agrupan, en función de su tipo de suelo dominante (que es el que mayor superficie ocupa en ellos), en las denominadas unidades de suelo cartografiables: SMU (Soil Map Units), a cada una de las cuales se le asigna un código identificador único. Los diferentes tipos de suelos se denominan como STU, por sus siglas en inglés: Soil Type Unit. Según la metodología de representación de la vulnerabilidad radiológica utilizada (Trueba, y otros, 2000a), es a cada uno de los SMU a los que se le asocia un valor para cada índice de vulnerabilidad radiológica, en función de la clasificación del STU dominante según la leyenda FAO-UNESCO 1985², como se verá más adelante de forma detallada.

Al igual que ocurre con los tipos de suelos, la SGDBE v.3 (EC, 1995) cuenta, en su base de datos, con más SMU diferentes que los que formaban la base de datos del mapa (CEC, 1985) utilizado para la edición del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a).

Se puede realizar una comparativa cuantitativa de los tipos de suelos y SMU con los que se ha trabajado en la versión anterior (Trueba, y otros, 2000a) y en la nueva edición del mapa de vulnerabilidad radiológica. En la tabla 9 se indica el número de SMU diferenciados y el número de tipos de suelos diferentes que se han identificado en la España peninsular en las dos ediciones y en el total de la Península Ibérica para la presente edición.

UNIDADES	SOIL MAP OF THE EC, PARA LA ESPAÑA PENINSULAR. UTILIZADO PARA EL MAPA DEL 2000	SGDBE, v.03, PARA LA ESPAÑA PENINSULAR. UTILIZADO PARA EL MAPA DE 2014	SGDBE, v.03, PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA. UTILIZADO PARA EL MAPA DE 2014	
			UNIDADES CON DATOS DE SUELOS	UNIDADES CON OTROS DATOS O SIN DATOS
NÚMERO DE SMU DIFERENCIADOS	62	72 (SMUs con código 34)	78 SMUs con código: 33 (codificación de SMUs franceses), 34 (codificación de SMUs españoles) y 351 (codificación de SMUs portugueses)	- Urbano: SMU 1 (4 polígonos) - Agua: SMU 3 (185 polígonos) - Sin datos: SMU -2 (21 polígonos)
NÚMERO DE STU DOMINANTES DIFERENCIADOS SEGÚN LA LEYENDA DEL MAPA FAO85 ⁶	27	36	40	-
NÚMERO DE STU DOMINANTES SEGÚN FAO85 SIN PERFILES ⁷ ASOCIADOS	2 (To y Je)	3 (To, Bcc, Lf) en 6 polígonos)	4 (To, Bcc, Lg, Qh) (en 40 polígonos)	-

Tabla 9.- Elementos representados en los mapa de suelos empleados para la primera y segunda ediciones de los mapas de vulnerabilidad.

⁶ Se tiene en cuenta el número de los diferentes tipos de suelos representados en el territorio peninsular español según la FAO85 y sólo para la España peninsular, ya que dicha clasificación y dicha extensión de territorio son elementos comunes en las dos ediciones de los mapas de vulnerabilidad.

⁷ Sin perfiles de la base de datos (Trueba, y otros, 2000b) con la misma clasificación que los STU dominantes del mapa de suelos.

Un aspecto destacable es, como puede verse en la tabla 9, que sigue sin contarse con perfiles para determinar la vulnerabilidad radiológica de los Andosoles eútricos (To), los cuales se encuentran exclusivamente en la provincia de Gerona y ocupan una superficie muy reducida. Por otra parte, los Cambisoles calcocrómicos (Bcc) y los Luvisoles férricos (Lf), para los que no se cuenta con perfiles clasificados como tales en la base de datos (Trueba, y otros, 2000b), aparecen todos ellos en el borde con la frontera portuguesa, en polígonos de superficie muy reducida. Así mismo, los polígonos que corresponden a Arenosoles húmicos (Qh) quedan representados exclusivamente en Portugal, en SMU con codificación portuguesa.

Además de los datos expuestos en la tabla 9, cabe señalar que, para toda la Península Ibérica, los siguientes perfiles de la base de datos del mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) sí tienen SMU en los que el STU dominante se clasifica, según la leyenda FAO-UNESCO 1985³, como ellos: Ag, Bc, Jc, Po, Rc, Rd, Re, E y Zo⁸. Gracias a esto, en el presente trabajo han podido ser utilizados los perfiles de suelos con estas clasificaciones para la representación de la vulnerabilidad radiológica, mientras que en el mapa de suelos tomado como base en la primera edición (Trueba, y otros, 2000a) estos STU no aparecían.

La mejora en la calidad del mapa de suelos (EC, 1995) que se ha tomado como base de representación contribuye a una particularización de la vulnerabilidad radiológica de los suelos más amplia y, por lo tanto, a la obtención de datos más concretos para cada tipo de suelos que pueden ser tenidos en cuenta por los técnicos y las autoridades para la toma de decisiones ante una emergencia nuclear.

Cabe señalar que no es posible realizar una comparativa gráfica de detalle entre la representación espacial de la versión anterior (Trueba, y otros, 2000a) y la versión actual de los mapas de suelos, pues, como se ha indicado, no se cuenta con los archivos digitales de la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica de los suelos españoles.

⁸ En el anexo II se incluye el listado completo de la equivalencia entre las siglas y el nombre de cada uno de los tipos de suelos de la clasificación utilizada en la base de datos SGDBE v.3 (EC, 1995).

2.3 Tratamiento y preparación del mapa y la base de datos de suelos europea

La versión completa de la base de datos de suelos europea: SGDBE v.3 (EC, 1995), cuenta con la información distribuida en diferentes tablas de datos y archivos con la información espacial en formato vectorial, que son los que se han empleado en este estudio por su mayor precisión, aunque también cuenta con los mapas de suelos en formato ráster.

2.3.1 Organización de la información del mapa de suelos europeos

La base de datos contiene una lista de los diferentes tipos de suelos identificados y descritos, denominados, como se ha citado anteriormente, STU. Cada STU se describe por sus propiedades geográficas, como por ejemplo: roca madre, altitud, pendiente, uso del suelo, etc., cuya información se recoge en el archivo *stu_sgdb.dbf* (EC, 1995), y por sus propiedades pedológicas (PTRDB: Pedotransfer Rules Database (EC, 1995)): capacidad de intercambio catiónico, textura, profundidad a la capa impermeable, perfil mineralógico, etc., que están en el archivo *stu_ptrb.dbf* (EC, 1995). De cada STU se cuenta con su nomenclatura según diversas leyendas de clasificación de suelos, como la leyenda FAO-UNESCO 1974 (modificada para el mapa en 1985 (EC, 1995)), la FAO-UNESCO 1990 y la leyenda elaborada por el grupo de trabajo World Reference Base for Soils Resources (WRB), a partir de la leyenda del mapa de suelos de la leyenda FAO-UNESCO 1990.

Para la Península Ibérica esta última aportación es relevante, pues con la leyenda de suelos FAO-UNESCO 1990 parte del territorio queda sin clasificar, mientras que con la clasificación WRB todos los tipos de suelos quedan clasificados. No obstante, dado que los perfiles de suelos con los que se cuenta están clasificados según la leyenda de la FAO-UNESCO 1974, los datos del tipo de suelos del mapa que se tendrán en cuenta son los de dicha clasificación, modificada para la representación del mapa del año 1985.

Como se ha indicado anteriormente, los STU se asocian para dar unidades de suelos cartografiables, SMU (EC, 1995). De esta forma, dentro de cada SMU pueden aparecer diferentes STUs (aunque la EC recomienda a cada país no incluir más de cinco tipos de suelos diferentes), siendo uno de ellos el suelo dominante, que será el que finalmente caracterice los polígonos que forman parte de cada SMU. Los criterios establecidos para considerar la inclusión de un STU dentro de un polígono de representación es que ocupe una extensión de, al menos, el 5% del total del área del polígono. Los SMU diferenciados aparecen en los archivos: *smu_sgdb.dbf* y *smu_ptrb.dbf* (EC, 1995).

Tanto los STU como los SMU están identificados por un número de orden que cada país le atribuye, precedido por el código del propio país. En el caso de la Península Ibérica, el código de España es 34 y el de Portugal es 351 (EC, 1995). En la zona de la frontera con Francia, dentro del territorio español, existen cinco polígonos formados por dos tipos de SMU (y sus dos STU dominantes correspondientes) que tienen un código asignado por el país vecino, es decir 33. Por otra parte cabe señalar que, algunos polígonos que pertenecen a SMUs con codificación portuguesa, sobrepasan la frontera con España, sin que exista una separación entre ambos países por la frontera (como sí ocurre con los polígonos que están en la frontera con Francia). Por este motivo no es posible separar España y Portugal de forma precisa a partir del mapa de suelos⁹.

Existen otros SMUs que no tienen este tipo de codificación y que son los siguientes (EC, 1995):

- -2: Corresponden a polígonos de los que no se tiene información y coinciden con pequeñas islas o islotes próximos a la costa peninsular, de los que hay un total de 21 recintos.
- 1: Corresponden a cuatro núcleos urbanos importantes. Concretamente son Lisboa y Oporto, en Portugal y a Madrid y Barcelona, en España.
- 3: Se trata de cuerpos de agua y en todo el territorio peninsular existen 185.

En la figura 7 se muestran los polígonos que corresponden a los SMU sin datos de suelos y los identificados como urbano y como agua.

⁹ Los recortes realizados en el mapa de suelos para obtener la superficie de la España peninsular se han realizado utilizando el mapa de límites administrativos español del IGN (IGN, 2014b).

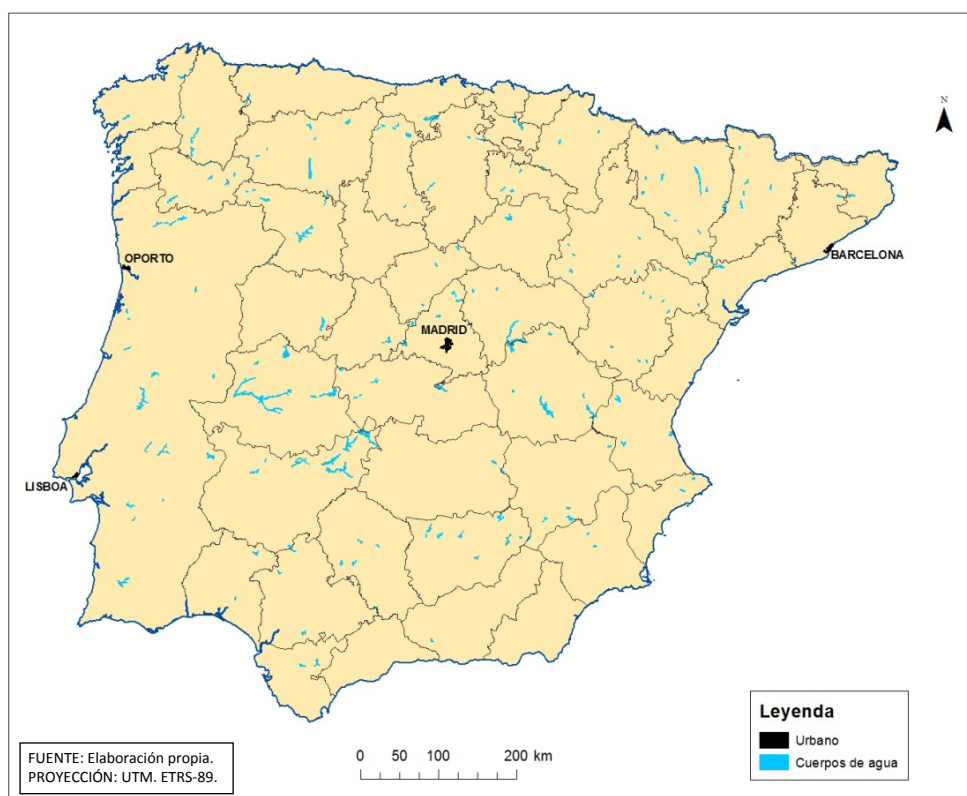


Figura 7.- Polígonos pertenecientes a núcleos urbanos y a cuerpos de agua en la Península Ibérica.

En la tabla de la base de datos del mapa de suelos (EC, 1995) que contiene la información de los STU, además de las características propias de cada una de las tipologías de suelos diferenciadas, se incluyen valores que corresponden a la reclasificación de cada uno de los parámetros aportados, en función de la fiabilidad de los datos aportados por cada país, según diferentes criterios establecidos por el EC (EC, 1995). En este trabajo no se han tenido en cuenta estas consideraciones, pero se ha querido mantener la información en los archivos de salida en previsión de que se puedan utilizar en un futuro en caso de que se considere necesario.

La relación entre los SMU y los STU, en función del STU dominante de cada SMU está incluida en una tabla independiente, concretamente en el archivo: *stuorg.dbf* (EC, 1995).

En resumen, de los 2.469 polígonos diferenciados en el mapa de suelos (EC, 1995) en la Península Ibérica, de 21 de ellos no se tienen datos de suelos, 4 corresponden a zonas urbanas, 185 corresponden a cuerpos de agua y el resto quedan agrupados en un total de 78 SMUs, los cuales están caracterizados por uno de los 40 tipos de suelos dominantes diferenciados.

Las relaciones conceptuales entre los elementos que conforman la SGDBE v.3 (EC, 1995) se reflejan en la figura 8, extraída de la web del mapa de suelos SGDBE v. 3 (EC, 2014).

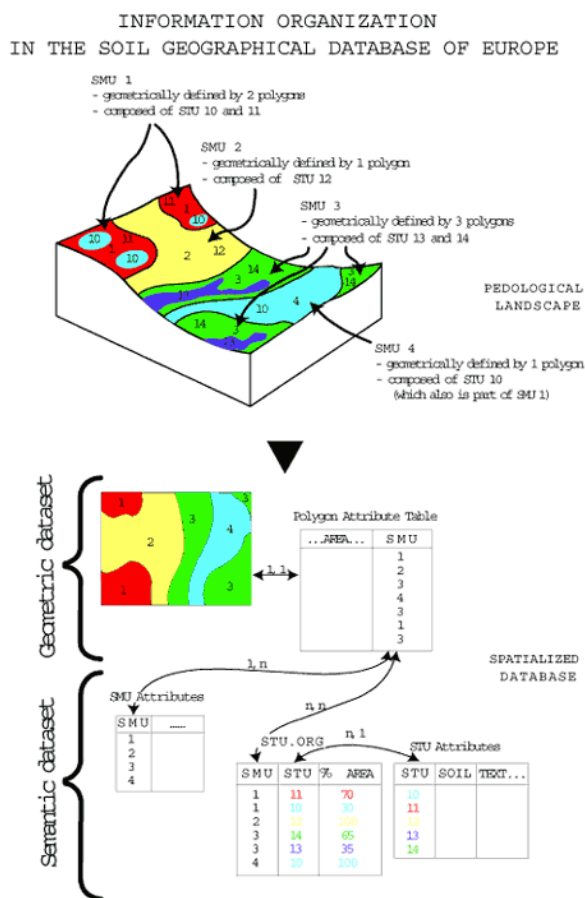


Figura 8.- Relaciones conceptuales entre los elementos que conforman la Base de Datos Geográfica de Suelos de Europa (SGDBE) (EC, 1995).

El archivo de partida que contiene los diferentes polígonos incluye también los parámetros geográficos y los pedológicos de los mismos, de tal forma que se cuenta con un registro por cada polígono el cual corresponde a un SMU concreto, en el que aparecen uno o varios STU, uno de ellos, el dominante. Este archivo es: *SGDB_PTR.shp* (y los archivos complementarios, con las extensiones correspondientes, que permiten su representación) (EC, 1995). Para la representación de casi todos los parámetros que se incluyen en este archivo se cuenta con los archivos correspondientes con extensión *lyr* (EC, 1995), de tal forma que es posible representarlos según la gama de colores elegida por la EC.

Inicialmente se procedió a la transformación de la proyección del mapa con la representación de los polígonos con los distintos tipos de suelos al sistema de proyección UTM ETRS89, pues esta proyección era la que se emplearía en las fases intermedias del trabajo, como se verá más adelante. No obstante, los mapas de vulnerabilidad radiológica finales se proyectaron según el datum WGS84, pues es el sistema de proyección elegido para que todos los países puedan unificar sus mapas resultantes en un futuro.

Posteriormente se procedió a la unión entre las tablas que contienen los parámetros de los tipos de suelos (STU) recogidos en la SGDBE v.3 (EC, 1995): *stu_sgdb.dbf* y *stu_ptrb.dbf*, tomando como campo común el identificador de cada STU. El archivo de salida es *stu_sgdb_ptrb.dbf* (EC, 1995).

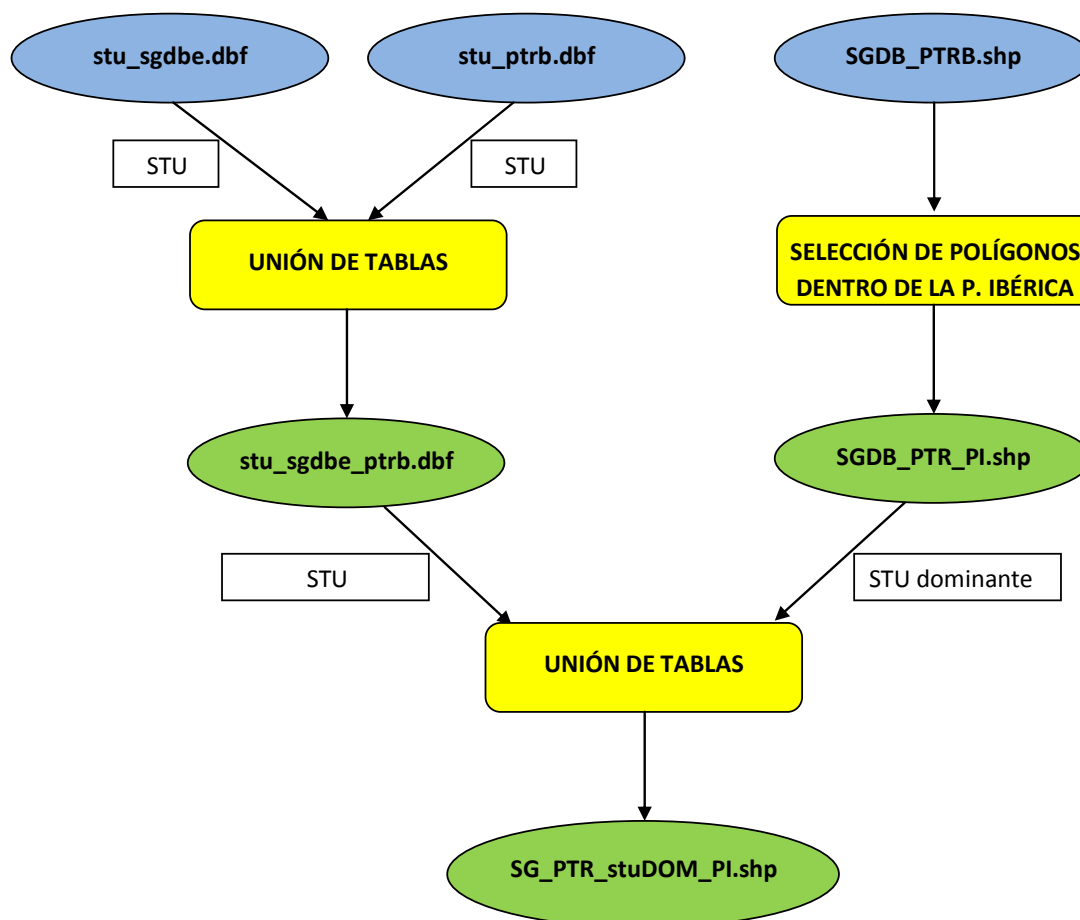


Figura 9.- Relaciones establecidas entre los archivos del mapa de suelos para elaborar el mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad.

A continuación, se llevó a cabo la unión del archivo de salida anterior y el que contiene la información geográfica con los polígonos diferenciados, tras haber seleccionado los polígonos que pertenecen a los SMU de España y Portugal y aquellos de Francia que quedan dentro del territorio Español (concretamente dos: 33011 y 33063). El campo común en sendos archivos es el tipo de STU y el STU dominante, respectivamente. El archivo de salida es *SG_PTR_stuDOM_PI.shp*. El diagrama de flujo de la figura 9 recoge las relaciones establecidas entre los archivos del mapa de suelos para elaborar el mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad.

Cabe señalar que existe un caso en el que un SMU, concretamente el 340255, tiene un cincuenta por ciento de área ocupada por un tipo de suelo, el STU 340839, que corresponde a un Lg y el otro cincuenta por otro, el STU 340840, que corresponde a un We. Podría tomarse cualquiera de los dos tipos de suelos como suelo dominante para ese SMU. En este caso se ha considerado adecuado mantener el STU dominante según el orden que aparece en el archivo que contiene la información para la representación geográfica de los polígonos de suelos y dejar como STU dominante para el SMU 340255 el suelo clasificado como Lg.

Así, se cuenta con un mapa base para la Península Ibérica, con la leyenda FAO-UNESCO 1974 (con las modificaciones de nomenclatura aplicadas al mapa del año 85), de aquí en adelante FAO-UNESCO 1985, para las representaciones posteriores de la vulnerabilidad radiológica de los suelos. En el anexo III se incluye el mapa de la Península Ibérica con la representación de los STU dominantes por su clasificación según la leyenda FAO-UNESCO 1985, aplicando la capa de propiedades (con extensión lyr) proporcionada por la EC para este parámetro.

2.3.2 Determinación del CODSUELO para los polígonos de suelos del mapa

Una vez obtenido el mapa de suelos que se toma como base para la representación de la vulnerabilidad radiológica de los mismos, se ha realizado la categorización de estos, atribuyéndoles un código, denominado CODSUELO. Este código servirá como campo común para relacionar el mapa de suelos y los perfiles.

Al igual que en la edición anterior de los mapas de vulnerabilidad (Trueba, y otros, 2000a), el CODSUELO se establece en función de la clasificación según la leyenda FAO-UNESCO 1985 en primer lugar y, en segundo lugar (y sólo cuando se considera relevante realizar esta diferenciación), en función del tipo de roca madre sobre el que se encuentra el suelo. En el mapa que aparece en el anexo IV se muestra el mapa litológico de la Península Ibérica según el parámetro de roca madre empleado para hacer la asignación de los CODSUELO¹⁰.

¹⁰ Los colores empleados para la representación de las litologías de la roca madre corresponden a los habitualmente empleados en los mapas litoestratigráficos, ya que, en este caso, el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) no cuenta con una capa lyr con colores preasignados, como sí la hay para las diferentes clasificaciones de suelos.

Ha sido preciso determinar nuevos CODSUELOS pues en el mapa de suelos actualizado (EC, 1995) existen nuevos tipos de suelos que en el mapa anterior (CEC, 1985) no aparecían. También se ha sucedido que dos tipos de suelos: Bg (CODSUELO 25) y Wd (CODSUELO 41), han dejado de quedar representados en el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) y que sí estaban en el mapa anterior (CEC, 1985).

Los códigos de suelo que se atribuyeron a los polígonos del mapa editado en el año 2000 tenían números correlativos desde el 1 al 42 (aunque no existían polígonos con los CODSUELO: 2, 4, 10, 11, 13 y 20; estos CODSUELO se asignaron a perfiles de suelos de la base de datos (Trueba, y otros, 2000b) que no tenían representación en el mapa de suelos (CEC, 1985)). En el mapa actualizado se han mantenido los mismos códigos que para el mapa de vulnerabilidad radiológica anterior (Trueba, y otros, 2000a), salvo para ciertos suelos que han sufrido alguna modificación al ser reagrupados de forma diferente en esta ocasión, en base a la roca madre, en cuyo caso, al código de suelo se le ha sumado un valor de 100, quedando así una referencia del código anterior. En el caso de los Luvisoles órticos (Lo), para los cuales en esta edición se les ha atribuido un CODSUELO 132 y ha sido necesario crear un grupo adicional (ya que la roca madre era muy diferente a la de los otros dos grupos), a éste nuevo grupo se le ha atribuido el valor consecutivo, es decir: 133. También se ha dado el caso de que, en esta actualización, para un mismo tipo de suelo se ha reducido el número de CODSUELOS, como por ejemplo ha sucedido con los Cambisoles cálcicos (Bk), para los en el año 2000 se tenían CODSUELOS del 26 al 31 (6 CODSUELOS) y en la versión del 2014 se han reagrupado todos en 4, del 126 al 129.

A los tipos de suelos que tienen representación en el mapa de suelos actual (EC, 1995) y no lo tenían en el anterior, se les ha atribuido valores desde el 201, de forma correlativa.

En el cuadro que aparece en el anexo V se muestran los códigos CODSUELO dados a cada uno de diferentes tipos de suelos en función de los criterios citados en esta edición del mapa de vulnerabilidad radiológica. En dicho cuadro se muestra también la roca madre en base a la cual se ha realizado la asignación del CODSUELO, así como los parámetros de altitud máxima y mínima (en metros), la textura, todos ellos para cada uno de los SMU existentes. El campo común que se tendrá en cuenta para asignar el CODSUELO a los polígonos del mapa será el SMU.

En el anexo VI se incluye el mapa de la zona de estudio con la distribución de los CODSUELOS diferenciados.

2.4 Tratamiento y preparación de datos de los perfiles de suelos españoles

La representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos se realiza a partir de los parámetros de perfiles reales de suelos, de los cuales se cuenta con datos de campo y de resultados de ensayos de laboratorio.

Los parámetros que se tienen en cuenta para el cálculo de los índices de vulnerabilidad parciales y totales son los que se han expuesto de forma resumida anteriormente y que están recogidos en la publicación de Estimación de Índices de Vulnerabilidad Radiológica para los Suelos Peninsulares Españoles (Trueba, y otros, 2000a).

Para la versión inicial del año 2000 del mapa de vulnerabilidad radiológica de los suelos españoles (Trueba, y otros, 2000a) se realizó una recopilación bibliográfica de perfiles de suelos españoles, que estaba compuesta por un total de 2.177 perfiles (Trueba, y otros, 2000b). Finalmente, los índices de vulnerabilidad radiológica se calcularon para 1.655 perfiles de la base de datos, pues el resto no tenía los parámetros necesarios para determinar los índices; estos 1.655 perfiles se denominarían entonces "*perfiles completos*" (Trueba, y otros, 2000a). Además, dos perfiles, a pesar de estar completos, no se tuvieron en cuenta en los cálculos; estos perfiles eran los denominados GE12 y H44.

Así, la base de datos de la que se ha partido en el presente trabajo (Trueba, y otros, 2000b) está formada por 2.177 perfiles, 1.657 con todos los parámetros necesarios para el cálculo de la vulnerabilidad radiológica (incluidos los dos perfiles no tenidos en cuenta en la versión anterior del mapa de vulnerabilidad). En esta base de datos (Trueba, y otros, 2000b) cada perfil de suelo tiene un identificador que consta de dos partes: una primera parte que hace referencia a la provincia en la que se encuentra, para lo que se empleó el código que antiguamente se utilizaba para la matriculación de los vehículos en cada provincia, y una segunda parte que es el número de orden de cada perfil en su provincia, el cual no responde a ningún tipo de identificación espacial ni conceptual del mismo, sino al orden en el que se realizó la recopilación bibliográfica.

Los datos que se incluyen en la base de datos de los perfiles son los siguientes: hoja del Mapa Topográfico Nacional (1:50.000), municipio, situación, uso del suelo, pendiente, Referencia (o fuente), página de la fuente, coordenadas geográficas (Longitud y Latitud), altitud, número de perfil según la fuente, clasificación según la leyenda FAO-UNESCO 1974, número de horizontes del perfil, si el perfil tiene todos los parámetros necesarios para el cálculo de los índices de vulnerabilidad radiológica (atribuyéndole “verdadero”, cuando está completo y “falso” cuando no lo está), pendiente del suelo, código de la pendiente, observaciones y clasificación según USDA. Para cada perfil, además se tienen los parámetros físicoquímicos que permiten su clasificación y el valor ya calculado de cada uno de los índices de vulnerabilidad.

Así mismo, la base de datos de los perfiles útiles se completó para la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica con la adjudicación a todos ellos del CODSUELO. Al igual que para los polígonos del mapa de suelos, a cada perfil de suelos se les asignó un CODSUELO en función de su clasificación según la leyenda FAO-UNESCO 1974 y según la roca madre sobre la que se encontraran (Trueba, y otros, 2000a). Como ya se ha citado, este código ha sido modificado para la edición 2014 del mapa de vulnerabilidad, pues ha variado la lista de tipos de suelos que aparecen en la zona de estudio con respecto al mapa de suelos anterior. En el apartado 2.4.2. se detalla la atribución de los CODSUELO a los perfiles de suelos.

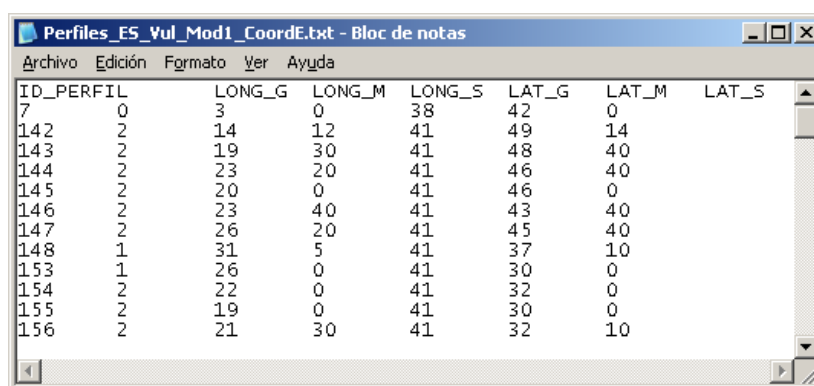
2.4.1 Verificación de las coordenadas de localización de los perfiles de suelos

El tratamiento de la base de datos de los perfiles de suelos españoles ha consistido, en una primera fase, en la representación geográfica de los mismos previa comprobación de la calidad de los datos recogidos en ella.

Como ya se ha indicado, se contaba con las coordenadas geográficas en las que se ubican los perfiles, aunque no de todos ellos. Concretamente se tenían coordenadas geográficas de 1.418 perfiles, mientras que el resto de perfiles tenían coordenadas UTM, previsiblemente según el datum ED-50¹¹, las cuales estaban incluidas en el campo de la situación, de las observaciones o de la fuente, junto con otra información, motivo por el cual fue preciso revisar de forma individual cada uno para localizar las.

¹¹ El datum de referencia de los perfiles que contaban con coordenadas proyectadas en el sistema UTM se ha supuesto, dado que, por la fecha, no es posible que correspondan al datum ETRS-89, oficial en la actualidad.

Para poder representar los puntos en los que se sitúan los perfiles fue preciso transformar sus coordenadas geográficas, para los 1.418 perfiles que las tenían, en coordenadas proyectadas en el sistema UTM, según el datum de referencia ETRS-89 y respecto al huso 30. Para ello se ha empleado el Programa de Aplicaciones Geodésicas: PAG 1.1, (IGN, 2014a). Con este programa es posible transformar las coordenadas geográficas en coordenadas UTM, tanto en el datum ED-50, ya obsoleto, como en el ETRS-89, que es el datum oficial para la representación geográfica en España (RD 1071/2007, de 27 de julio) y en Europa. Este programa permite realizar la transformación desde un archivo con extensión txt, en el cual la información debe estar ordenada tal y como se indica en la figura 10. El primer campo ha de corresponder a un identificador único del punto y los siguientes tres campos a la longitud (grados, minutos y segundos) y los tres últimos a la latitud (grados, minutos y segundos).



ID_PERFIL	LONG_G	LONG_M	LONG_S	LAT_G	LAT_M	LAT_S
7	0	3	0	38	42	0
142	2	14	12	41	49	14
143	2	19	30	41	48	40
144	2	23	20	41	46	40
145	2	20	0	41	46	0
146	2	23	40	41	43	40
147	2	26	20	41	45	40
148	1	31	5	41	37	10
153	1	26	0	41	30	0
154	2	22	0	41	32	0
155	2	19	0	41	30	0
156	2	21	30	41	32	10

Figura 10.- Formato del archivo de entrada para la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas proyectadas mediante el PAG 1.1 (IGN, 2014a).

Cabe señalar que, tal y como estaban identificados los perfiles de suelos (con dos campos: uno para la provincia y otro para el número de orden dentro de ésta), no era posible trabajar con ellos de forma automática. Por lo tanto, de forma previa, se atribuyó un identificador a todos los perfiles incluidos en la base de datos (los 2.177), también para los perfiles incompletos. Para ello se procedió a ordenar la base de datos en Excel, de tal forma que quedaran primero los perfiles completos y dentro de los completos (e incompletos, cada uno de forma independiente) que quedaran ordenados los códigos de provincia alfabéticamente y, por último, que dentro de cada provincia el número de orden estuviera colocado de menor a mayor. En la figura 11 se muestra parte del archivo con la base de datos de los perfiles (Trueba, y otros, 2000b) a los que se les ha atribuido el identificador único, denominado ID_PERFIL.

Perfiles_ES_Vul_Mod1_Coord.xlsx - Microsoft Excel

ArchivoInicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVistaComplementos

Arial10

Figura 11.- Extracto de la base de datos de perfiles de suelos elaborado por el CIEMAT (Trueba, y otros, 2000b).

Con todo ello, a partir de la base de datos de perfiles (Trueba, y otros, 2000b) en Excel se elaboraron varios archivos de texto, para facilitar el procesado de los datos por el programa PAG 1.1. Uno de los archivos incluyó todos los perfiles situados al este del meridiano de Greenwich y el resto los situados al oeste (para lo que, a requerimiento del programa es preciso incluir los grados de la longitud como valor negativo). El archivo de salida que proporciona el programa queda organizado, como puede verse en la figura 12, de tal forma que el primer campo corresponde al identificador del punto, el segundo a la coordenada X en UTM, el tercero a la coordenada Y en UTM y el último campo al huso para el que se han obtenido las coordenadas.

ID_P	XUTM_ETRS89	YUTM_ETRS89	HU
7	765146.467	4287766.002	30
142	934884.369	4642997.760	30
143	942289.487	4642400.925	30
144	947831.787	4639030.034	30
145	943289.088	4637507.045	30
146	948642.882	4633505.004	30
147	952106.656	4637441.143	30
148	876351.069	4617264.220	30
153	869972.380	4603631.209	30
154	947679.055	4611761.090	30
155	943734.088	4607799.643	30
156	946964.306	4612026.349	30

Figura 12.- Formato del archivo de salida con la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas proyectadas mediante el PAG 1.1. (IGN).

El resto de perfiles que tenían coordenadas UTM fueron revisados de forma individual para transformar sus coordenadas al datum oficial en la actualidad y respecto al huso 30. El formato de identificación de las coordenadas era diverso. Algunos perfiles cuentan con sus coordenadas UTM en formato numérico, como por ejemplo el perfil A2, del que el campo de las “Observaciones” se indica que sus coordenadas UTM son: X=692000,00 / Y=429000,00 (faltando un dígito en la coordenada Y), mientras que para otros perfiles sus coordenadas UTM están dadas según los códigos de letras del huso en el que se encuentran, como es el caso del perfil HU49, para el que se aportaban estas coordenadas UTM: 31T BG693/066.

Por otro lado, se identificaron dos perfiles (concretamente AB26 y NA42) que no tenían asociadas unas coordenadas, ni geográficas ni UTM, aunque sí tenían una descripción bastante precisa de la ubicación de los mismos, con referencias geográficas que pudieron localizarse de manera relativamente sencilla, gracias al visualizador de imágenes del IGN (IGN, IBERPIX, 2014). Además, se detectaron varios puntos que contaban con coordenadas UTM, además de con coordenadas geográficas, los cuales fueron revisados también de forma particular, teniendo en cuenta las indicaciones sobre su ubicación que aparecían en el campo “Situación” y/o “Observaciones”.

De este modo, el resultado de las coordenadas finales se obtuvo para todos los casos en coordenadas UTM, datum ETRS-89 y para el huso 30 (tanto las de los perfiles situados en el huso 31, como las de los perfiles situados en el huso 29). Así, es posible representar todos los puntos correspondientes a los perfiles de suelos.

La representación de los perfiles de suelos se realizó mediante la herramienta de ArcMap que permite representar geográficamente elementos a partir de dos campos que se identifican como coordenadas X e Y, respectivamente.

Una vez representados los perfiles en las coordenadas calculadas se vio que existían puntos que quedaban en el mar. Concretamente se han identificado 13 perfiles en el mar, que son los siguientes: LO23, LO49, PO10, H34, CA16, AL59, AL67, MU63, MU25, A2, T18, T26, B35. Por lo tanto, se evidenció que en estos puntos existe un error o en la toma de datos inicial, o en la transcripción de los mismos en la fase de recopilación bibliográfica, o en la elaboración de la base de datos en formato digital.

Se procedió entonces a la correcta ubicación de los perfiles citados y a la identificación de las coordenadas correctas de los mismos, lo cual se hizo de forma independiente para cada uno, teniendo en cuenta, por un lado, las indicaciones que aparecen en la base de datos (Trueba, y otros, 2000b) en cuanto a la ubicación de cada punto y, por otro, la información cartográfica del visualizador de imágenes en la web (IGN, IBERPIX, 2014) y el programa ArcMap. Las capas de información utilizadas en el programa ArcMap son las siguientes: puntos identificativos de los perfiles según las coordenadas calculadas, el archivo elaborado a partir del mapa de suelos (EC, 1995) tal y como se ha descrito en el apartado anterior: *SG_PTR_stuDOM_Pi.shp* y el mapa de límites administrativos de la España peninsular, descargado de la web del IGN en formato vectorial: *BCN200_01015_LIM_ADM.shp* (IGN, 2014b). De esta forma se contaba con referencias útiles para la correcta ubicación de cada punto, tanto en cuanto al polígono en que quedaba ubicado en relación al tipo de suelo, como en cuanto al municipio en el que se localiza (aunque no todos los perfiles contaban con este dato) o respecto a otros elementos geográficos de referencia como carreteras, caminos, elevaciones y topónimos en general. En la figura 13 se muestra un ejemplo del modo de trabajo seguido, en la que se puede ver, a la izquierda el mapa de suelos (EC, 1995) con la capa de límites administrativos superpuesta (IGN, 2014b), a la derecha el IBERPIX y abajo la base de datos de los perfiles (Trueba, y otros, 2000b), todo ello referido al perfil MU25.

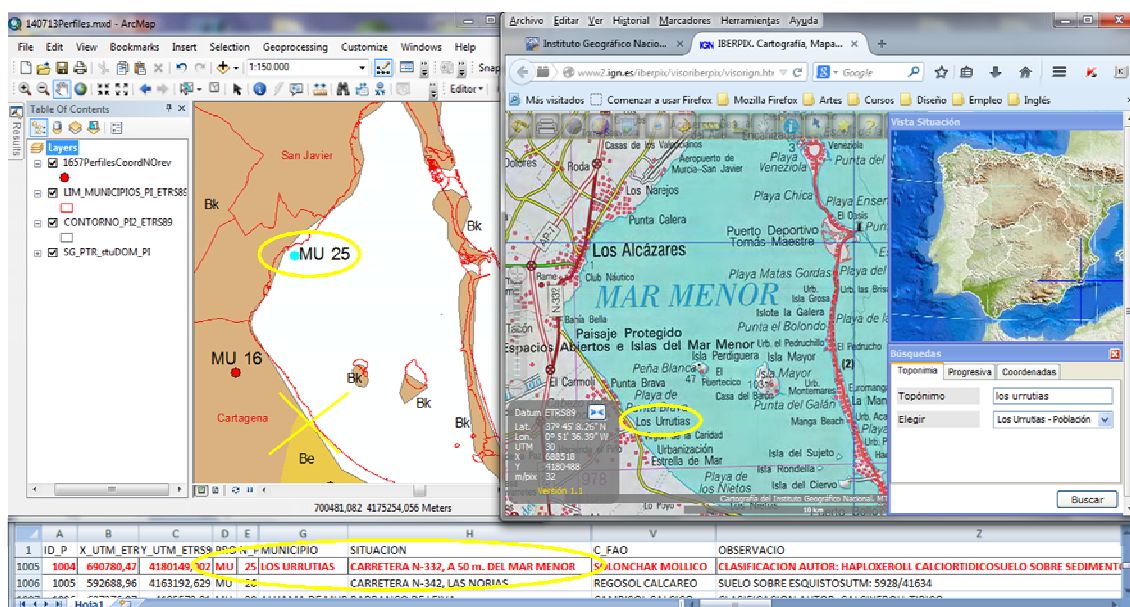


Figura 13.- Perfil MU25 en relación con los mapas de suelos (SGDBE v.3 (EC, 1995)) y el mapa de límites administrativos (IGN, 2014b), a la izquierda y a la derecha el visualizador de imágenes (IGN, IBERPIX, 2014). Detalle del perfil MU25 en la base de datos de perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b) (abajo).

Puntualmente, cuando las indicaciones reflejadas en la base de datos y las coordenadas tenían alguna discrepancia, se recurrió a la identificación de la ubicación de los perfiles en función del sustrato sobre el que se encontraba el perfil, definido en la base de datos de los perfiles (Trueba, y otros, 2000b) como roca madre. Para ello, en primer lugar, se consultaba la roca madre del polígono en el que quedaba el perfil en el mapa de suelos tomado como base (EC, 1995) y, si la referencia no era lo suficientemente precisa, se buscaba el dato en la base cartográfica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y, concretamente, los mapas geológicos a escala 1:50.000 de la serie MAGNA, que están a disposición pública en la web del Instituto (IGME, 2014).

Como se ha indicado anteriormente, el contorno de la Península Ibérica no coincide exactamente en el mapa de suelos y en el mapa de límites administrativos, pero, a pesar de que la precisión del mapa de los límites administrativos (IGN, 2014b) es mayor, se ha de tener en cuenta la línea de costa marcada por el mapa de suelos, para no perder información del mapa de suelos (EC, 1995). Así, los puntos que habían quedado en el mar se han reubicado de tal forma que quedaran dentro del contorno de la Península Ibérica en las dos capas citadas.

Dado que se había detectado esta falta de precisión en la ubicación de los perfiles de la periferia, era de suponer que en los puntos que quedaban en tierra también podrían existir errores de georreferenciación. No obstante, aunque para los puntos que quedaban en el mar era evidente que existía un error o una falta de precisión en las coordenadas aportadas en la bibliografía, para los puntos que quedaban en el interior del territorio peninsular, no lo era. Por lo tanto, para realizar un control de calidad de la ubicación de los perfiles se definieron unos criterios para la elección de aquellos puntos para los cuales se iba a proceder a su revisión. Para definir estos criterios de selección se tuvo en cuenta, por un lado, que la precisión de las coordenadas UTM de la mayoría de los perfiles de suelos que las tenían era, como mucho, de un kilómetro y, por otro lado, que de los perfiles que tenían coordenadas geográficas, tan solo 365 de ellos contaban con una precisión de segundos.

Así se seleccionaron aquellos perfiles que quedaban a menos de 1.000 m de los límites de los polígonos de los suelos definidos en el mapa de suelos, resultando ser 587 puntos los que quedaban en esta franja, y de estos, aquellos que quedaban a menos de 1.000 m de los límites de los términos municipales. De este modo, los perfiles candidatos para ser revisados fueron 295. Estas franjas se han elaborado con la herramienta *Buffer* de ArcMap.

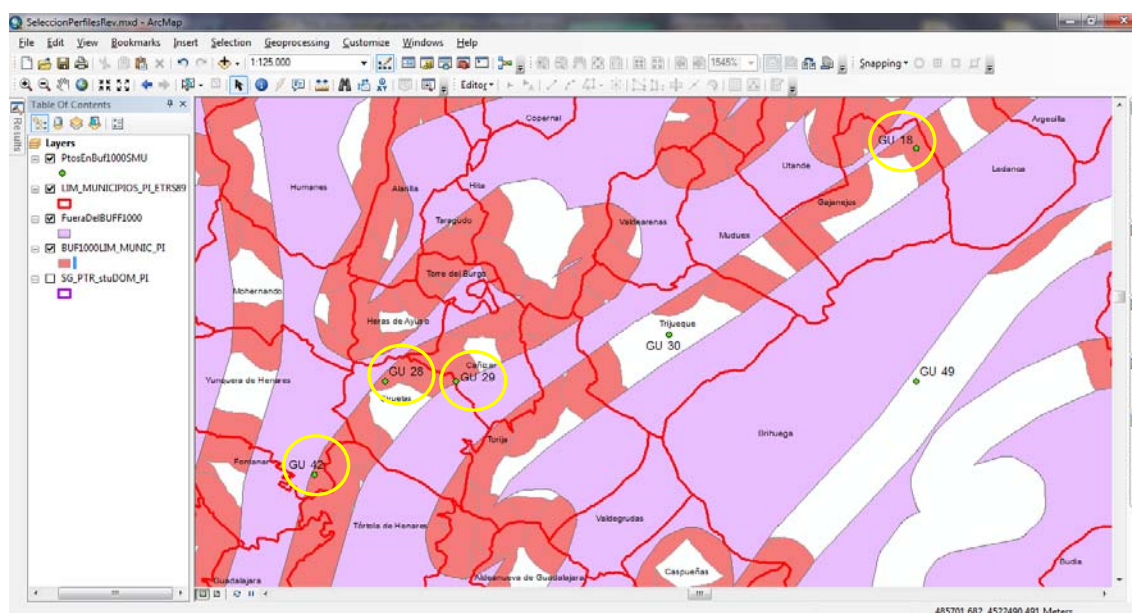


Figura 14.- Definición de las áreas para elegir los perfiles de suelos candidatos para revisar su ubicación, con respecto a los polígonos de suelos y a los límites de municipios.

Así, los puntos que se consideran candidatos para la revisión de sus coordenadas son aquellos que coinciden espacialmente con las zonas en color rojo de la figura 14, pues cumplen las condiciones impuestas de encontrarse a menos de 1.000 m de un límite municipal y a menos de 1.000 m de un límite de cambio de tipo de suelo. Estos perfiles se han resaltado en amarillo en la figura 14.

Además de los 295 puntos candidatos para el control de calidad (y de los 239 perfiles que fue necesario revisar uno a uno, pues hubo que encontrar su ubicación), en la práctica se revisaron otros puntos, a priori no seleccionados para dicho control, por existir confusiones entre los puntos candidatos y éstos.

Como se ha indicado anteriormente, según el mapa de suelos existen polígonos ocupados por masas de agua interiores (denominados con el código de SMU “3”). Para evitar que los puntos de los perfiles de suelos queden dentro de esas masas de agua, se ha realizado una selección por localización de los puntos. De esa selección se han identificado ocho perfiles, los cuales han sido trasladados lo necesario para que sus coordenadas queden fuera de las masas de agua, pero cumpliendo con los criterios de situación recogidos en la base de datos de los perfiles (Trueba, y otros, 2000b).

Además, siempre que ha sido posible se ha tenido especial precaución con que las nuevas coordenadas coincidan con un recinto en el que el suelo dominante sea coherente con la clasificación del tipo de suelo del perfil y/o con las clasificaciones de otros perfiles próximos al punto reubicado.

Para completar el control de calidad de la ubicación de los perfiles de suelos se ha realizado una verificación de los puntos en función de la provincia en la que han quedado sus coordenadas. Esta comprobación se ha considerado necesaria para eliminar incongruencias en caso de que se requiriera llevar a cabo tratamientos de los datos o estadísticas por provincias.

De este modo, se han ido realizando selecciones por localización sucesivas para cada provincia, de tal forma que se ha verificado que el código de todos los perfiles seleccionados coincide con el código que le corresponde a dicha provincia. Así, se han identificado diez y ocho (18) perfiles cuyo código no coincidía con la provincia en la que se localizaban sus coordenadas, estando todos ellos a escasos metros con respecto a los límites de provincia a los que pertenecían. Tras su identificación se ha procedido a la reubicación de éstos y a la reasignación de las coordenadas correspondientes.

Todos estos perfiles han sido reubicados en sus provincias, según su código de perfil, salvo el perfil V65 (cuyo identificador único es 1531), que, según lo que se indica en el campo de *Situación* de la base de datos (Trueba, y otros, 2000b), está en la localidad de Pego, que corresponde a la provincia de Alicante y no a la Valencia. Por lo tanto, cuando se llevó a cabo la recopilación bibliográfica de los perfiles, este perfil debería haberse denominado con la letra A (de Alicante) y no con la V (de Valencia). No obstante, en el presente trabajo no se ha considerado oportuno modificar la codificación original. En la figura 15 se puede observar la ubicación del punto en cuestión y la distancia a la que se encuentra del límite con la provincia de Valencia (11,2 m).

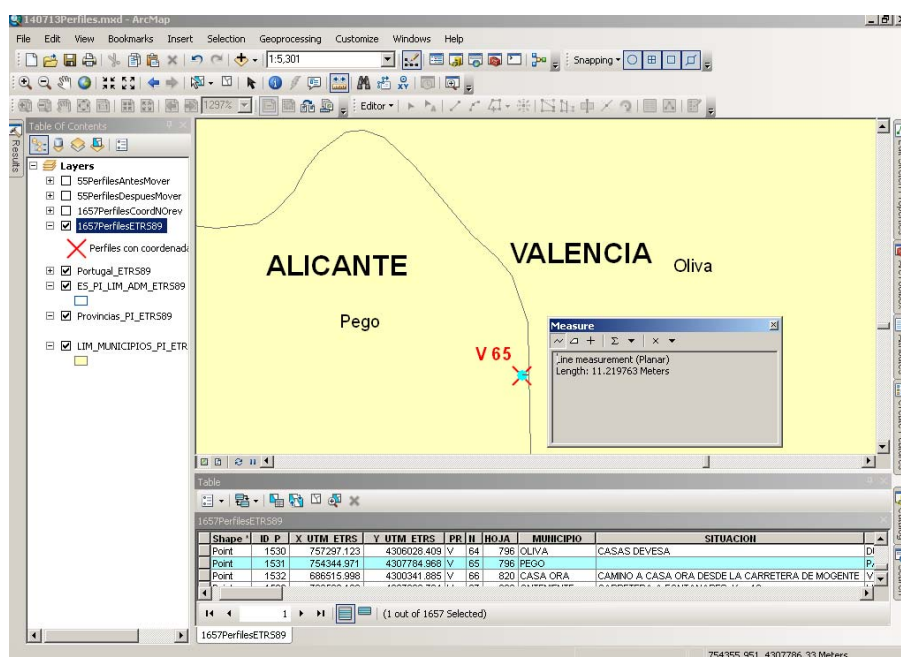


Figura 15.- Detalle de la ubicación del perfil V65 con respecto al límite de provincia entre Alicante y Valencia.

En el mapa que aparece en la figura 16 se muestran los perfiles ubicados en las coordenadas previas a su revisión (en rojo) y en las coordenadas definitivas tras la revisión de las mismas (en verde).

En la figura 17 se muestra la ubicación de todos los puntos a los que se han modificado las coordenadas con respecto a la base de datos original, antes de que éstas fueran modificadas y después.

Con todo ello, el total de puntos a los que se les modificaron las coordenadas fueron cincuenta y seis (56), lo que supone un 3,38% de 1.657 puntos y que se considera una cantidad relativamente baja.

Con estas comprobaciones se considera que se ha llevado a cabo una revisión de la ubicación de los puntos suficientemente exhaustiva como para dar por válidas las coordenadas de los perfiles de la base de datos (Trueba, y otros, 2000b) empleada en este trabajo.

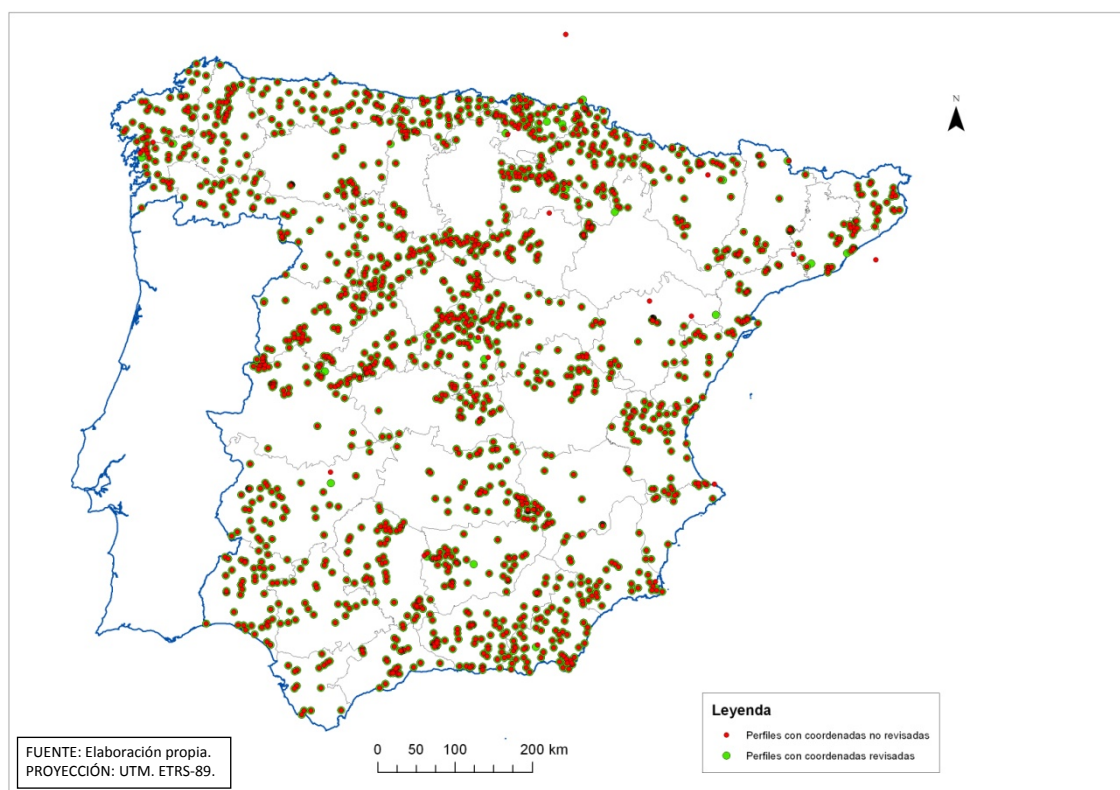


Figura 16.- Representación de los perfiles de suelos antes (en rojo) y después (en verde) de la revisión de sus coordenadas.

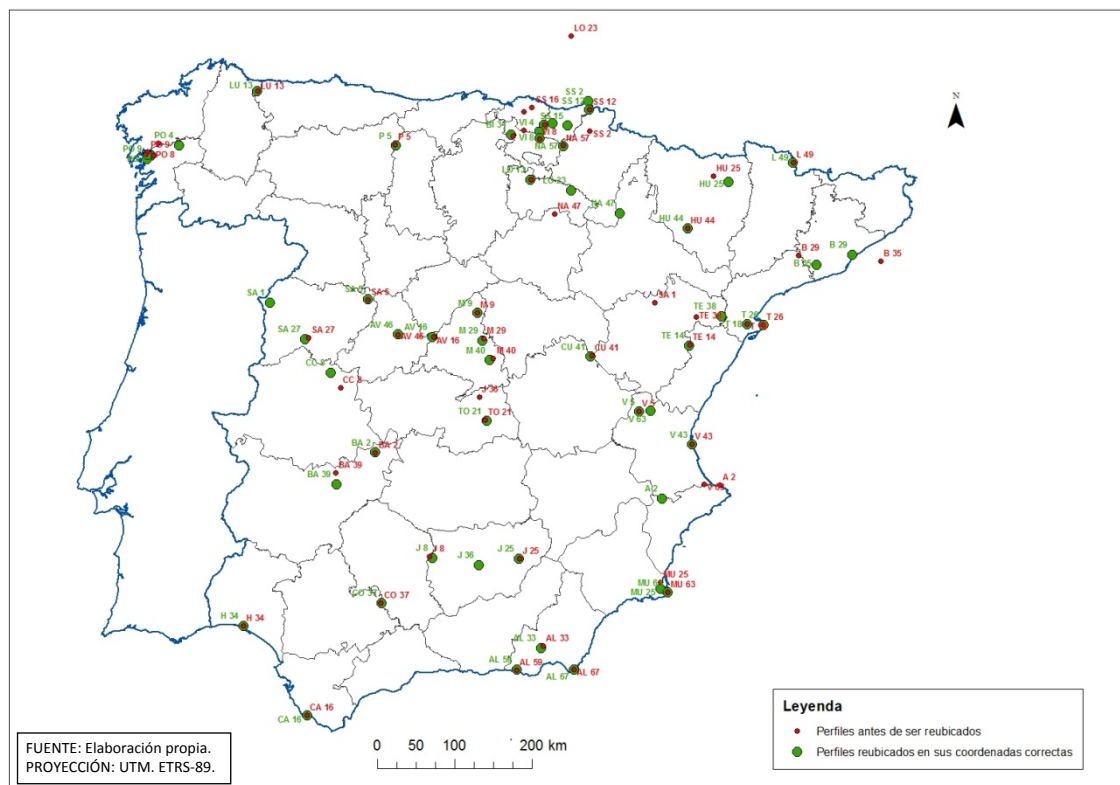


Figura 17.- Representación de los perfiles de suelos para los que se han modificado sus coordenadas antes (en rojo) y después (en verde) de la revisión de su ubicación.

2.4.2 Determinación del CODSUELO para los perfiles de suelos

Tras la comprobación de la correcta referenciación geográfica de los perfiles de suelos se ha realizado la categorización de todos ellos, atribuyéndoles, como se ha indicado anteriormente, un nuevo CODSUELO, al igual que para los polígonos del mapa de suelos a partir, en primer lugar, de su clasificación según la leyenda FAO-UNESCO 1974 y, en segundo lugar, en función del tipo de roca madre sobre el que se encuentra el suelo, en los casos en los que se ha considerado relevante este aspecto.

Del mismo modo que para el mapa de suelos, se han mantenido los mismos códigos que para el mapa de vulnerabilidad radiológica anterior (Trueba, y otros, 2000a), salvo el grupo de suelos que haya sufrido alguna modificación en el mapa de suelos utilizado como base de representación (EC, 1995). De esta forma se tienen perfiles con códigos de dos cifras: los que son iguales a los de la edición del mapa de vulnerabilidad anterior (Trueba, y otros, 2000a) y de tres cifras, empezando por 1 ó 2, dependiendo de si se trata de una modificación con respecto al mapa anterior (Trueba, y otros, 2000a) o si se trata de nuevos tipos de suelos representados en el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995), respectivamente.

No obstante, algunos de los perfiles se clasifican como un tipo de suelo que no tiene representación en el mapa actual y que tampoco lo tenía en el anterior. A estos perfiles se les ha atribuido un CODSUELO con cuatro cifras, empezando por el valor 1001.

En los cuadros que aparecen en el anexo VII se muestran los códigos CODSUELO atribuidos a cada uno de los perfiles en función de los criterios citados. Se ha elaborado un cuadro para los suelos que sí tienen representación en el mapa de suelos (identificando los SMU del mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) con los que queda relacionado cada uno de ellos) y otro cuadro para los perfiles que no tienen representación en el mapa de suelos. En sendos cuadros se indica el número de perfiles que quedan dentro de cada CODSUELO.

En la presente edición de los mapas de vulnerabilidad radiológica se han podido asignar CODSUELOS representables en el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) a un total de 1.386 perfiles de los 1.657 perfiles completos. El resto de los perfiles de suelos (271) no tienen representación cartográfica en el mapa de suelos SGDBE (EC, 1995), pues no existen polígonos en los que el STU dominante coincida en su clasificación FAO85 (según la nomenclatura del propio mapa) con la clasificación FAO-UNESCO 1974 de los perfiles. No obstante, con respecto a la primera edición de los mapas de vulnerabilidad radiológica (Trueba, y otros, 2000a) se ha conseguido una mejora notable, pues en aquella el mapa de suelos empleado tan solo tenía suelos clasificados igual que 1.060 de los perfiles de suelos de la base de datos, pudiéndose empear sólo estos perfiles para asignar los valores de vulnerabilidad radiológica a los polígonos de suelos.

2.5 Relación entre los perfiles de suelos y el mapa de suelos

Como se ha visto, siguiendo los mismos criterios de asignación, a todos y cada uno de los perfiles de suelos se les ha asignado un CODSUELO y también se ha hecho lo mismo con los polígonos que se representan en el mapa de suelos (EC, 1995) empleado como base de representación del mapa de vulnerabilidad.

Así, cada SMU del mapa tiene asignado un CODSUELO (pudiendo tener varios SMUs un mismo tipo de CODSUELO, si su suelo dominante es el mismo y si la roca madre también es coincidente). De esta forma se ha elaborado una tabla con esta correspondencia entre SMU y CODSUELO, que sirve para la asignación del CODSUELO a los SMU del mapa, utilizando para ello la herramienta *Join* de ArcMap y utilizando como campo común el SMU. En el diagrama que aparece en la figura 21 se muestra las relaciones establecidas.

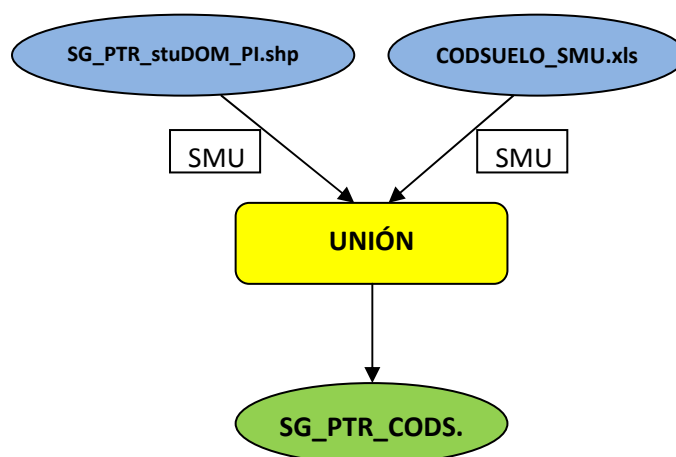


Figura 18.- Relaciones establecidas entre los archivos del mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad y la tabla con la asignación del CODSUELO correspondiente a cada SMU.

De esta forma es posible, tomando como campo común el CODSUELO, atribuir a los polígonos del mapa de suelos, los valores de los índices de vulnerabilidad de los perfiles de suelos reales, para poder representar así la vulnerabilidad radiológica calculada para estos últimos.

No obstante, no todos los perfiles de suelos que quedan incluidos en un CODSUELO tienen un mismo valor para cada índice de vulnerabilidad. Por ello, a cada CODSUELO se le ha atribuido el valor de la moda de todos los perfiles incluidos en él, para cada índice de vulnerabilidad. En el caso de que, para un índice existan dos valores que se repiten con la misma frecuencia, de manera conservadora, se le atribuye a ese CODSUELO el valor del índice mayor, aplicando así un criterio más conservador. Por lo tanto, fue necesario elaborar una tabla en la que a cada CODSUELO le correspondía el valor de la moda de cada índice de vulnerabilidad. Los valores de la moda de cada uno de los índices de vulnerabilidad obtenidos a partir de los datos de los perfiles, tanto para los tipos de suelos que tienen representación en el mapa, como para los que no la tienen, se incluyen en las tablas que aparecen en el anexo XI.

Finalmente, llevando a cabo la unión entre el mapa de suelos, al que ya se le había asignado el CODSUELO correspondiente a cada SMU, y la tabla con el valor de la moda de cada índice de vulnerabilidad para cada CODSUELO, se obtiene el valor de los índices de vulnerabilidad parciales y totales para cada polígono del mapa. Los pasos descritos se muestran en la figura 19.

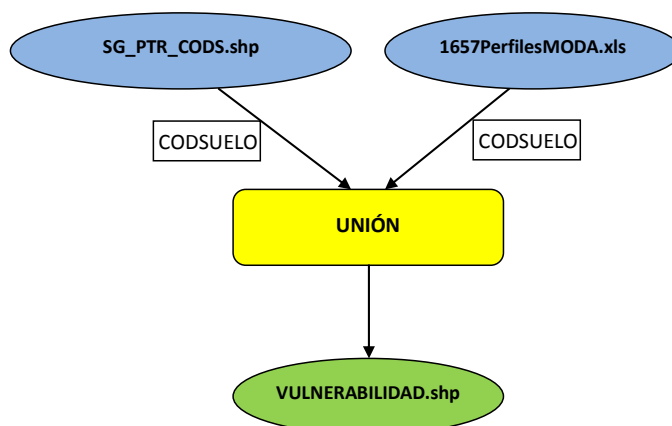


Figura 19.- Relaciones entre el mapa base con los CODSUELOS por SMU y la tabla con los valores de los índices de vulnerabilidad para cada CODSUELO, para obtener los índices de vulnerabilidad de cada SMU.

Una vez que se cuenta con el mapa de vulnerabilidad radiológica con los índices parciales y totales, se ha procedido a la representación de cada índice. Para ello, de forma previa se ha utilizado la herramienta de ArcMap, *Dissolve*, de tal forma que quedan agrupados todos los polígonos que cuentan con un mismo valor del índice representado.

Para el caso de los índices de vulnerabilidad totales, dado que se trata de una suma de los índices de vulnerabilidad parciales, los valores no quedan en el rango de 1 a 5, como se indicó anteriormente. Por ello, se ha procedido a la reclasificación de los índices en categorías, tal y como se ha expuesto en el apartado 2.1.5, de tal forma que se mantienen las clases de vulnerabilidad del 1 al 5. Esta reclasificación se ha llevado a cabo seleccionando los registros de los polígonos que quedan dentro de cada categoría y, en una nueva columna se les ha asignado el valor correspondiente a la clase en la que se engloban, empleando para ello la herramienta *“Field calculator”*.

Cabe señalar que, la gama de colores empleada en la leyenda de los mapas de vulnerabilidad, así como la presentación de la propia leyenda, han sido elegidos de tal forma que coinciden con los mapas de vulnerabilidad radiológica de suelos del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a), pues de esta forma es más sencillo hacer una comparación visual de los resultados obtenidos en sendas ediciones. Por este mismo motivo, también se ha querido representar exclusivamente el territorio español, pues facilita la comparación con los resultados de los mapas del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a). Para ello se ha procedido a realizar un recorte de cada uno de los mapas de vulnerabilidad radiológica para cada índice, utilizando la herramienta Clip de ArcMap y empleando como elemento de recorte el mapa de límites administrativos descargado del IGN (IGN, 2014b).

En el anexo VIII se incluyen los diez mapas de índices de vulnerabilidad parciales y los cuatro de los índices de vulnerabilidad totales, en los que se representa exclusivamente el territorio español y en el anexo IX se incluyen los mapas de vulnerabilidad radiológica de los suelos de toda la Península Ibérica. A modo de ejemplo en la figura 20 se muestra la salida del mapa del índice de vulnerabilidad parcial IK_CA para la Península Ibérica.

Para los índices de vulnerabilidad parciales, a pesar de que el valor del índice de vulnerabilidad que se representa es el valor de la moda para cada Codsuelo, es de interés conocer qué otros valores de índices de vulnerabilidad se dan dentro de cada Codsuelo. Para ello se ha elaborado un gráfico de barras en el programa Excel, en el que se puede ver la representatividad de cada uno de los índices de vulnerabilidad parciales. A modo de ejemplo, en la figura 21 aparece el diagrama de barras del mapa de vulnerabilidad para el índice IK_CA. En el anexo X se incluyen todas las gráficas con la representatividad del valor de cada índice de vulnerabilidad.

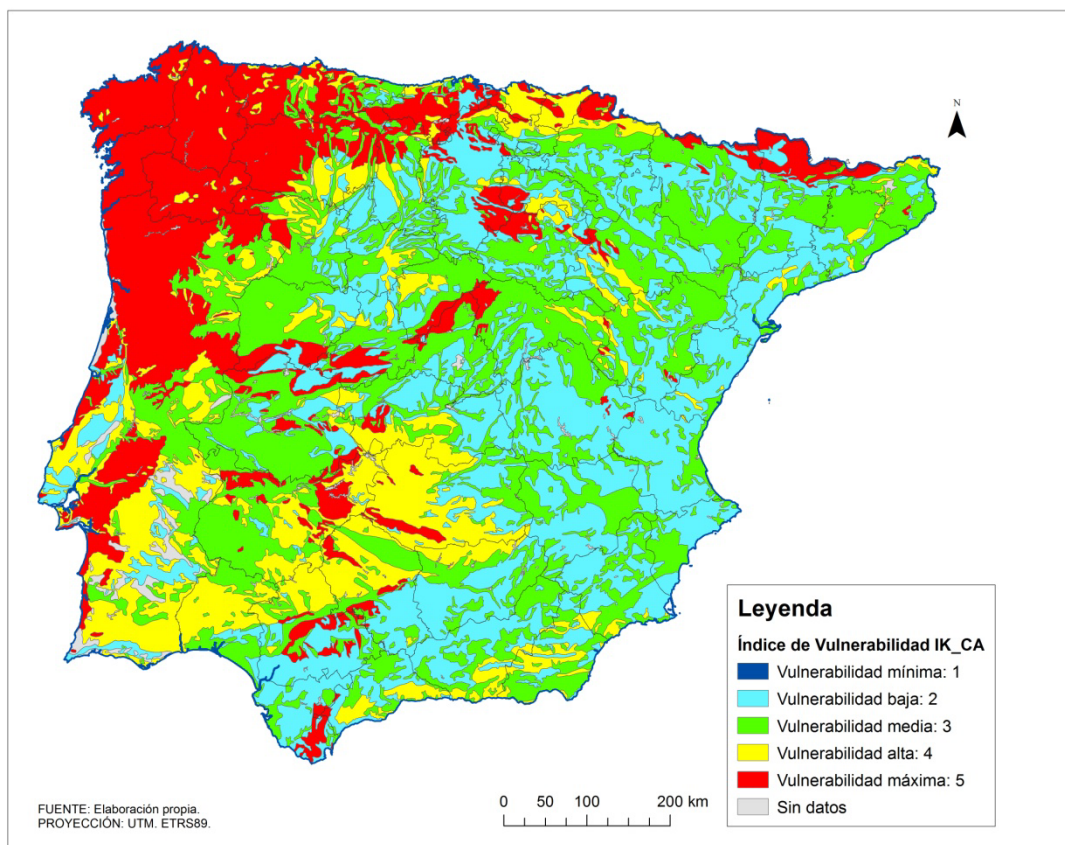


Figura 20.- Representación del índice de vulnerabilidad IK_CA en la Península Ibérica.

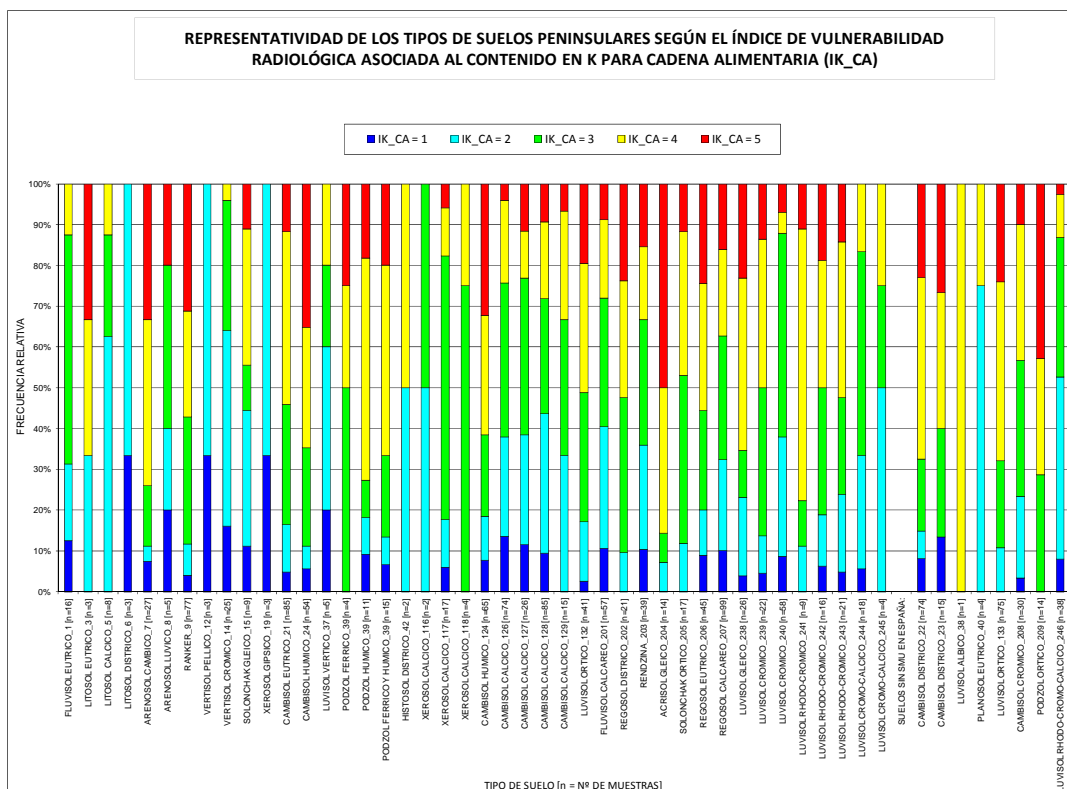


Figura 21.- Gráfico de la representatividad de los distintos valores del índice de vulnerabilidad IK_CA para cada CODSUELO.

3 RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en la representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos de la Península Ibérica para los mapas de la edición de 2014.

3.1 Representación de los diferentes CODSUELO definidos

Aplicando la metodología propuesta por Trueba et al. (2000a) para la obtención de los índices de vulnerabilidad radiológica, tomando como base de representación el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) y asignando los CODSUELO según los criterios expuestos, se ha obtenido la distribución de los CODSUELOS que puede verse en el mapa que aparece en el anexo VI.

Como no se dispone de la distribución espacial de los CODSUELO de la edición anterior, para tener una idea de las diferencias en la distribución de estos CODSUELOS en ambas ediciones se ha elaborado un mapa en el que se representan los CODSUELO que no han sufrido variaciones, los CODSUELO que han sufrido alguna variación (que son los que tienen tres cifras y empiezan por 1) y los que corresponden a tipos de suelos que no aparecían en el mapa de suelos utilizado en la edición anterior (que son los que tienen tres cifras y empiezan por 2). Este mapa se ha elaborado asignando un valor a cada uno de los tipos de CODSUELO: 1, 2 y 3, concretamente para cada uno de los tres grupos de codificación empleados y aplicando posteriormente la herramienta *Dissolve*, con el fin de agrupar los polígonos de cada categoría. En la figura 22 se incluye el mapa citado con las tres categorías de CODSUELO descritas, en el que se aprecia que las modificaciones en los CODSUELO de la edición anterior (polígonos en amarillo) se concentran más en la mitad este peninsular. Resulta significativo el que exista una gran parte del territorio de estudio en el que existen CODSUELOS nuevos (polígonos en naranja), lo que plantea la duda de qué tipo de suelos habría en esas zonas según el mapa de suelos (CEC, 1985) utilizado para la edición de los mapas de vulnerabilidad del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a). Los polígonos sin datos (en gris), corresponden con las masas de agua, los núcleos urbanos y con los polígonos de suelos que carecen de datos en el mapa de suelos (EC, 1995).

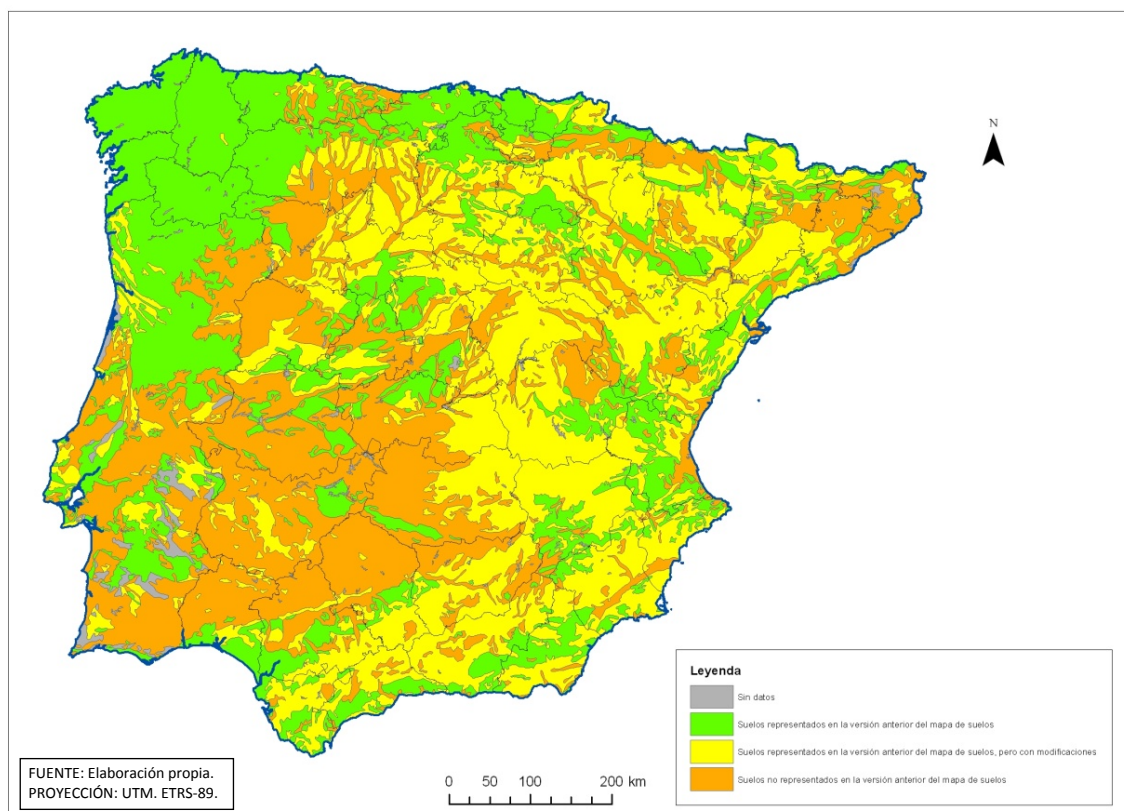


Figura 22.- Representación de los polígonos con los tres tipos de CODSUELO definidos y de aquellos que no tienen datos de suelos.

3.2 Representación de los índices de vulnerabilidad en el nuevo mapa de suelos

Dado que cada índice de vulnerabilidad está relacionado con unas propiedades específicas de los suelos, cada índice debe representarse de forma separada.

Para poder tener una visión concreta de la relevancia de cada uno de los índices y los valores obtenidos para cada uno de ellos, se ha calculado en ArcMap el área que ocupa cada polígono que tiene el mismo valor para cada uno de los índices, y se ha hecho un resumen para cada índice (empleando la herramienta *Summarize*). Con los resultados obtenidos se ha elaborado una tabla de superficies para cada índice y, a partir de ésta, se ha calculado el porcentaje de superficie que ocupa cada valor, tanto del mapa de la Península completa, como de la zona española exclusivamente. El resultado es el que se expone en las tablas 10 y 11 y en los gráficos de la figura 23.

ÍNDICES	PORCENTAJE DE SUPERFICIE OCUPADA POR LOS VALORES DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA (PI)					
	Sin datos ¹²	Índice de vulnerabilidad mínimo: 1	Índice de vulnerabilidad bajo: 2	Índice de vulnerabilidad medio: 3	Índice de vulnerabilidad alto: 4	Índice de vulnerabilidad máximo: 5
IF_IE	1,46	0,00	51,02	38,11	5,00	4,42
IF_CA	1,46	3,59	4,51	28,25	62,18	0,00
IH_IE	1,46	71,09	18,89	7,90	0,60	0,06
IH_CA	1,46	34,40	54,47	7,12	1,89	0,66
IFQsr_IE	1,46	1,85	19,68	20,07	5,94	51,00
IFQsr_CA	1,46	54,31	8,66	1,38	34,19	0,00
IFQCs_IE	1,46	44,04	0,06	0,00	47,47	6,97
IFQCs_CA	1,46	11,06	47,98	0,66	0,06	38,78
IK_CA	1,46	0,00	29,05	33,12	16,22	20,14
ICA_CA	1,46	59,33	5,94	21,04	2,14	10,09
T_Sr_IE	1,46	0,00	25,42	45,86	23,82	3,43
T_Sr_CA	1,46	4,74	56,77	15,06	21,97	0,00
T_Cs_IE	1,46	24,15	10,85	48,56	13,65	1,32
T_Cs_CA	1,46	0,00	38,95	20,95	38,64	0,00

Tabla 10.- Superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la Península Ibérica.

ÍNDICES	PORCENTAJE DE SUPERFICIE OCUPADA POR LOS VALORES DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PARA LA ESPAÑA PENINSULAR (ES)					
	Sin datos ⁽¹²⁾	Índice de vulnerabilidad mínimo: 1	Índice de vulnerabilidad bajo: 2	Índice de vulnerabilidad medio: 3	Índice de vulnerabilidad alto: 4	Índice de vulnerabilidad máximo: 5
IF_IE	0,59	0,00	46,46	43,52	4,85	4,57
IF_CA	0,59	3,60	4,85	32,46	58,50	0,00
IH_IE	0,59	76,25	14,23	8,18	0,67	0,07
IH_CA	0,59	38,03	51,14	7,56	1,94	0,74
IFQsr_IE	0,59	0,22	17,62	17,32	6,05	58,20
IFQsr_CA	0,59	61,42	8,82	1,03	28,13	0,00
IFQCs_IE	0,59	38,28	0,07	0,00	53,16	7,90
IFQCs_CA	0,59	12,71	53,91	0,30	0,07	32,42
IK_CA	0,59	0,00	32,88	35,77	14,06	16,69
ICA_CA	0,59	66,32	4,74	17,09	0,45	10,80
T_Sr_IE	0,59	0,00	20,98	47,18	27,71	3,55
T_Sr_CA	0,59	5,42	62,67	13,08	18,24	0,00
T_Cs_IE	0,59	21,57	6,11	55,39	14,81	1,53
T_Cs_CA	0,59	0,00	45,09	22,16	32,16	0,00

Tabla 11.- Superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la España peninsular.

¹² Polígonos sin datos de suelos: núcleos urbanos, cuerpos de agua y polígonos sin identificación del tipo de suelo y sus características.

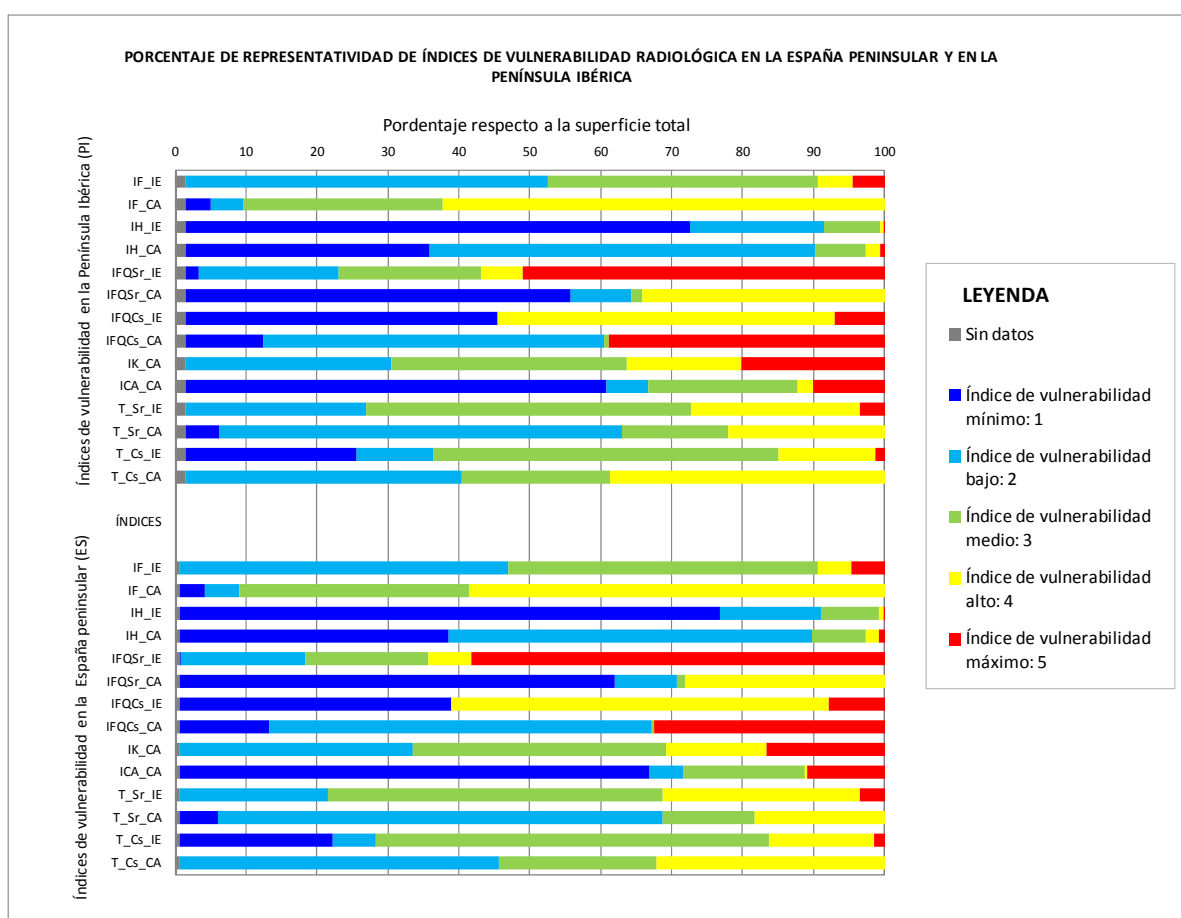


Figura 23.- Representación gráfica de la superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la Península Ibérica y en la España peninsular.

En cuanto a los índices parciales, destacan los índices IFQsr_IE y IFQCs_CA por ser de los que ocupan porcentajes de superficie más elevados, concretamente del 51 y casi del 39%, respectivamente (valores referidos a la España peninsular), lo que indica que los suelos peninsulares son más vulnerables en estos índices. Estos contrastan con los índices IH_IE, IFQsr_CA, IFQCs_IE (aunque para este índice la mayor superficie del territorio tiene un valor de vulnerabilidad media) y Ica_CA, para los que gran parte de la zona de estudio presenta una vulnerabilidad mínima. Los valores de vulnerabilidad radiológica medio-bajos quedan más representados para los índices IF_IE, IH_CA, mientras que los valores medio-altos están más representados, además de los ya citados, para el índice IF_CA. Los valores de vulnerabilidad radiológica del índice IK_CA tienen una distribución bastante semejante unos a otros, ocupando entre el 20,14 % de la superficie el valor máximo y el 29,05 % el valor bajo. Este último índice citado y el índice IF_IE no tienen ningún tipo de suelo cuya vulnerabilidad sea mínima, como tampoco tienen ningún tipo de suelo con vulnerabilidad máxima los índices IF_CA e IFQsr_CA, ni media el índice IFQCs_IE.

Respecto a los índices totales, los cuales corresponden a la suma de los índices parciales para cada radionucleido y para cada vía de exposición, tienen valores fundamentalmente intermedios (2, 3 y 4) y parecen quedar diluidos los valores de vulnerabilidad mínima (1) y los de vulnerabilidad máxima (5).

4 DISCUSIÓN

En este apartado se realiza la comparación entre los mapas de vulnerabilidad radiológica de suelos editados en el año 2000 (Trueba et al) y los obtenidos en esta segunda edición con la aplicación de la metodología de representación propuesta en la primera. También se aplicarán otras metodologías de representación de la vulnerabilidad radiológica, para lo cual se tomará uno de los índices de vulnerabilidad como ejemplo.

También se lleva a cabo un análisis de la distribución de los perfiles de la base de datos y se plantean propuestas para la ampliación y mejora de la calidad de la misma en cuanto a su distribución y representatividad.

Los resultados del estudio de la distribución de la base de datos de perfiles de suelos actual (Trueba, y otros, 2000b) se presentarán en relación con las Centrales Nucleares en operación y con el ATC de Villar de Cañas.

4.1 Comparación visual de los mapas de vulnerabilidad radiológica de las dos ediciones

A pesar de que no se dispone de los archivos originales de los mapas de vulnerabilidad radiológica de los suelos de la edición del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a), se cuenta con los archivos en formato imagen de esos mapas. Éstos se han incluido en el anexo XII.

Utilizando el programa Adobe Illustrator se ha recortado la imagen de los mapas de la edición del año 2000 y, con ArcMap, se han georreferenciado, utilizando como referencia el mapa de límites administrativos de España. Así, superponiendo a las imágenes de los mapas de la primera edición los mapas de vulnerabilidad elaborados en este trabajo, se pueden comparar los mapas de vulnerabilidad.

En la figura 24 aparece esta superposición de mapas, concretamente para el índice de vulnerabilidad parcial ICa_CA, en la que en colores sólidos están representados los valores del índice de vulnerabilidad citado obtenidos en el año 2000 (Trueba, y otros, 2000a) y en la trama de puntos superpuesta aparecen representados los valores obtenidos en esta edición.

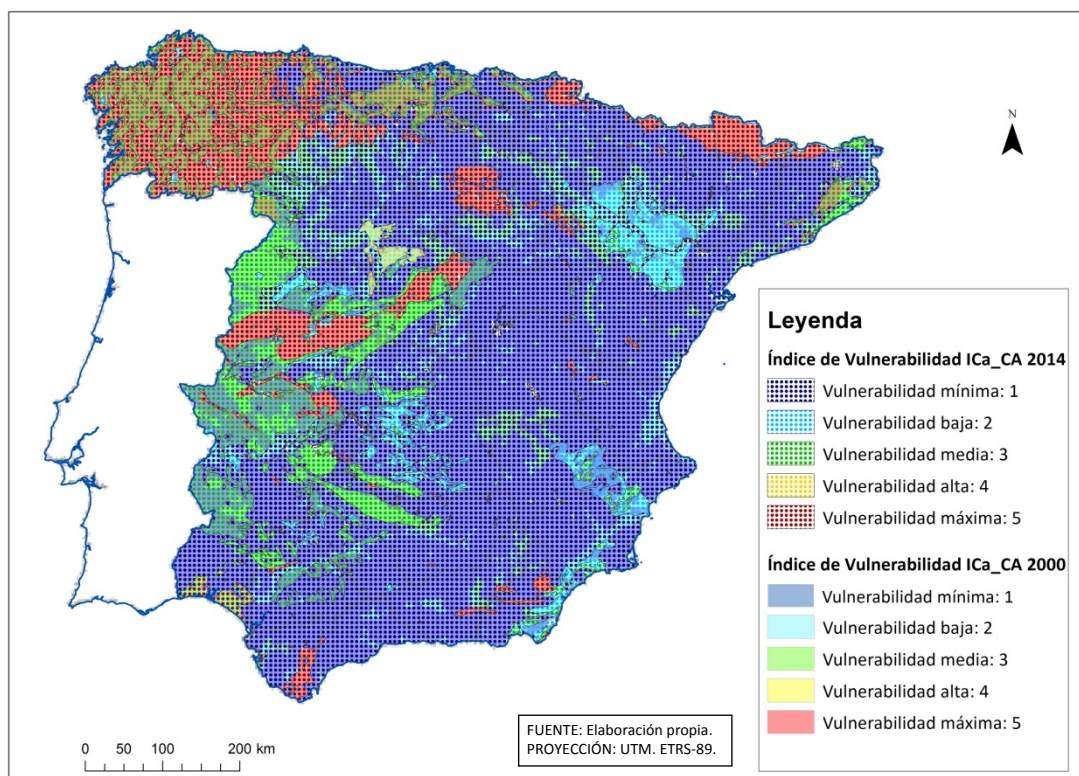


Figura 24.- Superposición entre el mapa del índice de vulnerabilidad ICa_CA de los suelos de la España peninsular en la primera edición (en colores sólidos) y el mapa del mismo índice de vulnerabilidad de la segunda edición (en trama de puntos).

De la superposición de los mapas de vulnerabilidad del año 2000 (Trueba, y otros, 2000a) y de la presente edición, para el índice ICa_CA, se pueden ver las diferencias de valores de los índices. Utilizando la herramienta de ArcMap *Identity* se puede identificar cuál es el tipo de suelo dominante en los polígonos en los que existen variaciones entre una y otra edición del mapa de vulnerabilidad, aunque no el tipo de suelo dominante que aparecía en el mapa de suelos utilizado en la primera edición de los mapas de vulnerabilidad radiológica (Trueba, y otros, 2000a). Así, se pueden extraer las siguientes conclusiones para el mapa del índice ICa_CA:

- En parte de Galicia, donde aparecen Cambisoles húmicos (Bh) con CODSUELO 24, la vulnerabilidad radiológica es ahora media (3), cuando en la edición anterior del mapa (Trueba, y otros, 2000a) prácticamente era sólo máxima (5). Los valores actuales de vulnerabilidad media aparecen, al igual que ocurre en la confluencia de Asturias, Cantabria y León, donde también existen Cambisoles húmicos (Bh), CODSUELO 24.
- Los Cambisoles cálcicos, aunque en este caso los de CODSUELO 127, también han generado un cambio en el valor de este índice de vulnerabilidad al oeste de las provincias de Zamora y Salamanca, y en áreas dispersas de Soria, Ávila, Madrid, Albacete, Córdoba, Teruel y Zaragoza, donde el índice ha pasado de 3 en el mapa de la primera edición (Trueba, y otros, 2000a), a 1 en el mapa de la edición actual.
- El paso de índice de vulnerabilidad de 3 (Trueba, y otros, 2000a) a 1 también se ha detectado al noroeste de León donde el suelo es un Luvisol crómico (Lc, CODSUELO 239).
- Por el contrario, se ha pasado de un índice 1 (Trueba, y otros, 2000a) a 3 al noroeste de Guadalajara, donde aparece un Regosol dístico (Rd, CODSUELO 202), así como en Cáceres, Badajoz, Salamanca y algo en Valladolid.
- En Segovia, coincidiendo con polígonos en los que el suelo dominante es un Arenosol cámbico (Qc, CODSUELO 7), el índice de vulnerabilidad ha pasado de 2 (Trueba, y otros, 2000a) a 4.
- Los Arenosoles lúvicos (Ql, CODSUELO 8) que aparecen en la costa de Huelva, en el mapa actualizado tienen un valor de vulnerabilidad de 5, cuando el valor en el mapa anterior era de 3 (Trueba, y otros, 2000a).
- En general, se ha pasado de un valor de vulnerabilidad 2 (Trueba, y otros, 2000a) a 1 donde aparece como suelo dominante un Fluvisol calcáreo (Jc, CODSUELO 201), como ocurre en zonas de Segovia, Soria, Guadalajara, la costa de Gerona, Valencia y Alicante, Cáceres, Badajoz y en zonas de llanuras aluviales: en el valle del Ebro a su paso por la provincia de Zaragoza y en el valle del Guadalentín, en Murcia.
- El paso de índice de vulnerabilidad 2 (Trueba, y otros, 2000a) a 1 también se da entre Zaragoza y Huesca, donde el suelo dominante es Solonchak órtico (Zo, CODSUELO 205).
- En una pequeña zona del interior de Alicante, donde aparece Xerosol cálcico (Xk, CODSUELO 116) como suelo dominante, en el mapa actual el valor de la vulnerabilidad es 3 y en la edición anterior era de 2 (Trueba, y otros, 2000a).

- En la zona del delta del Ebro ahora se tiene valor de vulnerabilidad 1, cuando antes (Trueba, y otros, 2000a) no se tenían perfiles para representar la vulnerabilidad de los suelos en esa zona.

4.2 Otras posibles metodologías para la representación de los índices de vulnerabilidad radiológica

Como se ha visto anteriormente, aplicando la misma metodología que para la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica de suelos (Trueba, y otros, 2000a), se han tenido en cuenta 1.386 perfiles de suelos de los 1.657 perfiles que conforman la base de datos de perfiles completos (Trueba, y otros, 2000a), ya que no existen polígonos de suelos en el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) en los que el STU dominante se clasifique como los 271 perfiles que no se han podido emplear para definir la vulnerabilidad radiológica de los suelos. Además, no se tiene en cuenta la ubicación de los perfiles, si no la clasificación del tipo de suelo y la roca madre cuando un mismo tipo de suelo se encuentra sobre diferentes unidades litológicas y éstas presentan diferencias relevantes.

Para utilizar la base de datos de perfiles completa y tener en cuenta la ubicación de los perfiles de suelos se han considerado dos posibles metodologías alternativas para la representación de la vulnerabilidad. En ambos casos la extensión del mapa será exclusivamente la España peninsular, pues no se cuenta con perfiles de suelos en territorio portugués.

La primera de las metodologías de representación alternativas (unión espacial entre el mapa de suelos y los perfiles), en la que también se ha tomado como base el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995), consiste en asignar a cada polígono de suelo el valor de la moda de los índices de vulnerabilidad de los perfiles que quedan dentro de cada uno, es decir, llevando a cabo la unión espacial entre el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) y la capa de los perfiles de suelos.

El segundo método de representación con el que se aprovecharía la base de datos completa de perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b) consiste en hacer una interpolación de los valores de cada uno de los índices de vulnerabilidad radiológica de los suelos (interpolación espacial de los valores de vulnerabilidad de los perfiles).

Estas metodologías de representación, las cuales se describen con más detalle en los siguientes apartados, se han aplicado exclusivamente para dos índices: IK_CA e ICa_CA, pues son los índices que tienen una correlación directa con un único parámetro, el contenido en K y en Ca, respectivamente y los resultados son fácilmente identificables teniendo en cuenta la geología regional.

4.2.1 Unión espacial entre el mapa de suelos y los perfiles

Para obtener los valores de los índices de vulnerabilidad de los perfiles de suelos que quedan dentro de cada polígono, tal y como se refleja en el diagrama de flujo de la figura 25, se realiza una unión espacial (*Spatial Join* en ArcMap) entre el mapa base con la información de los suelos en la España peninsular (cuyo archivo ha sido previamente recortado por el mapa que contiene los límites administrativos españoles (IGN, 2014b)) y el archivo que contiene la base de datos de los perfiles de suelos.

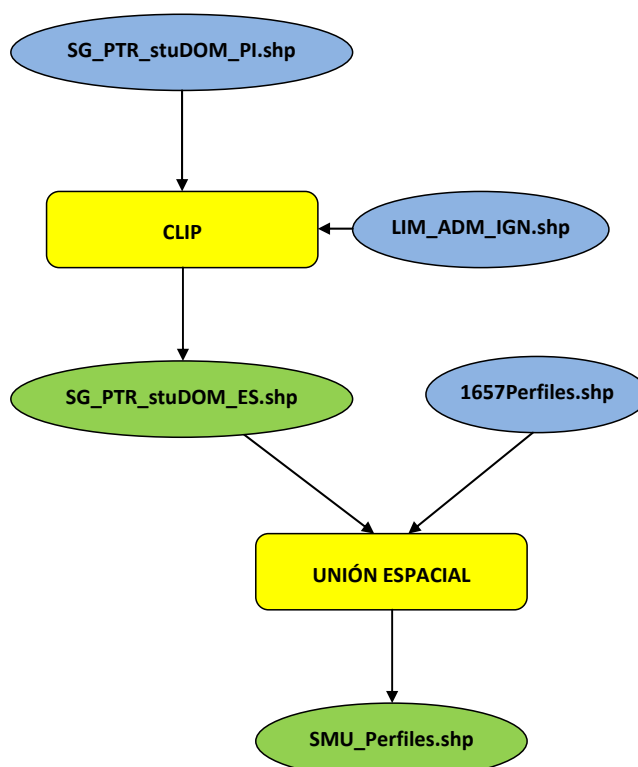


Figura 25.- Relación entre el archivo del mapa base y el de la ubicación de los perfiles de suelos para obtener la relación espacial entre ambos.

A partir del archivo dbf generado en la unión espacial (y utilizando el programa Excel), se ha calculado la moda de los índices de vulnerabilidad para cada polígono y, posteriormente, se ha procedido a la unión entre la tabla del mapa y la tabla en la que se han calculado las modas de los índices, utilizando como campo común el campo OBJECTID que identifica cada polígono. (Ver figura 26).

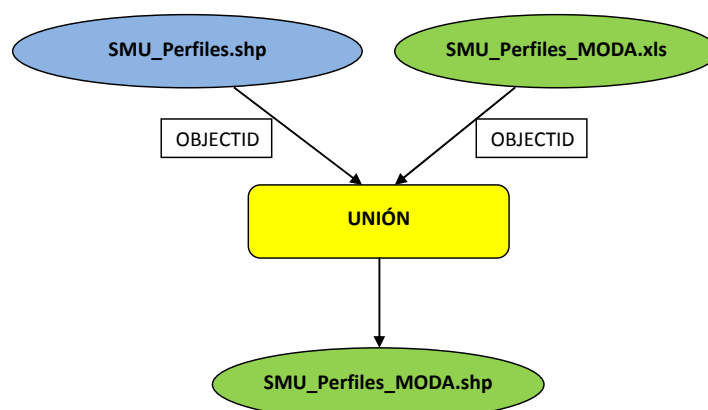


Figura 26.- Relación entre la capa que contiene la relación espacial entre el mapa de suelos SGDBE y el archivo con el valor de la moda de los índices de vulnerabilidad de cada polígono.

Posteriormente se ha procedido a la representación de los dos índices elegidos para aplicar esta metodología: IK_CA e ICa_CA. Los mapas resultantes se incluyen en el anexo XIII. En este caso no se ha llevado a cabo el paso de simplificación del mapa, uniendo los polígonos con el mismo valor de cada índice, para poner en evidencia el gran número de polígonos en los que no hay ningún perfil de suelo (polígonos representados en color gris). Este hecho se debe, por un lado a que existen grandes áreas en las que no se cuenta con perfiles de suelos, y, por otro, a que el tamaño de los polígonos condiciona el resultado, ya que en polígonos pequeños hay una probabilidad menor de contener perfiles, mientras que los polígonos grandes estarán más caracterizados.

En la figura 27, se pueden observar los mapas de vulnerabilidad radiológica, representando el contenido en K frente al riesgo de entrada en la cadena alimentaria del Cs137: IK_CA, elaborados a partir de la metodología de asignación de CODSUELOS (a la izquierda) y según el método de la unión espacial.

Cabe destacar que, con esta metodología de representación quedan numerosos polígonos de suelos sin datos, pues no existen perfiles de suelos en esas zonas.

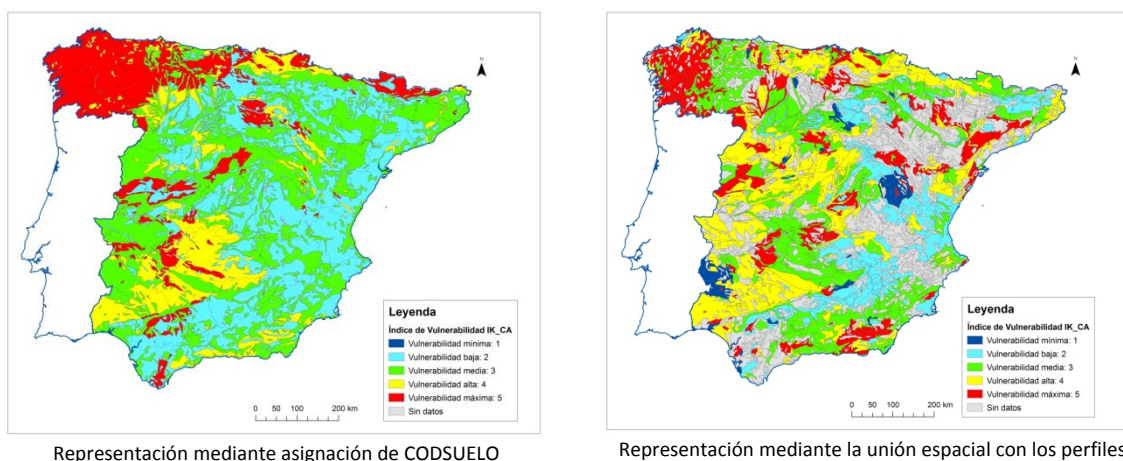


Figura 27.- Mapas del índice de vulnerabilidad IK_CA elaborados a partir de la metodología de asignación de CODSUELO según el tipo de suelo y la roca madre (izquierda) y a partir de la unión espacial entre el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) y los perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b).

De la comparación de los mapas de vulnerabilidad para el índice IK_CA (y sin tener en cuenta las zonas que quedan sin datos), puede apreciarse que el mapa resultante de la unión espacial entre los polígonos del mapa de suelos y los perfiles de suelos mantiene la tendencia general de distribución de los valores de este índice según la metodología de representación inicial. No obstante, existen áreas de cierta extensión en las que se ponen de manifiesto las discrepancias entre una y otra forma de representación, como en el límite entre Burgos y Soria, como en el Sistema Central o como entre Granada y Almería. Además, cabe destacar la existencia de zonas con el índice de vulnerabilidad mínimo: 1 en el mapa obtenido con la unión espacial, mientras que en el mapa resultante de la designación de CODSUELOS no aparece representado este índice de vulnerabilidad mínima.

A partir de la base de datos del mapa resultante de esta unión espacial, se ha hecho una comprobación del número de perfiles cuyo CODSUELO coincide con el CODSUELO del recinto en el que quedan incluidos espacialmente. El resultado obtenido en esta comprobación indica que en ninguno de los polígonos más de la mitad de los perfiles coincide con el CODSUELO del polígono en el que estos se ubican; es más el 50% tan solo se alcanza en un polígono (con CODSUELO 240), para el que se cuenta con dos perfiles exclusivamente. De hecho, para los polígonos de 16 de los CODSUELO asignados según los criterios descritos anteriormente, ninguno de los perfiles que quedan contenidos en ellos tiene el mismo CODSUELO que el polígono en el que se encuentran. Este hecho evidencia la no correspondencia entre los tipos de suelos dominantes que aparecen en cada polígono del mapa (EC, 1995) y los tipos de suelos caracterizados en ellos y que conforman la base de datos de suelos (Trueba, y otros, 2000b) con la que se cuenta.

Además de posibles discrepancias en la clasificación de los tipos de suelos, existe también un factor importante y que es el hecho de que, en gran parte de las ocasiones, la toma de datos en campo se realiza para áreas singulares, poco representativas de la región en la que se encuentra el perfil de suelo caracterizado y en la bibliografía consultada para la recopilación de los perfiles de suelos, existen trabajos de campo específicos.

4.2.2 Interpolación espacial de los valores de vulnerabilidad de los perfiles

El método empleado para la interpolación ha sido el de Kriging, considerando como área para la interpolación el archivo de los límites administrativos de la España peninsular descargado del IGN (IGN, 2014b), un tamaño de celdas para el archivo de salida ráster de 1.000 m y tomando los doce (12) perfiles más próximos. Tras llevar a cabo la interpolación se procedió a la reclasificación de los datos de salida (utilizando la herramienta *Reclassify* de ArcMap), de tal forma que las clases coincidieran con las de los mapas de vulnerabilidad obtenidos con las otras metodologías aplicadas, es decir, con valores de vulnerabilidad del 1 al 5. Por último, se procedió a la conversión del archivo ráster a polígonos, con lo que el mapa final tiene un aspecto similar al de los mapas elaborados con las otras metodologías de representación. El resultado obtenido para los dos índices considerados se incluye en el anexo XIV. En el diagrama que se muestra en la figura 28 aparecen reflejados los pasos descritos.

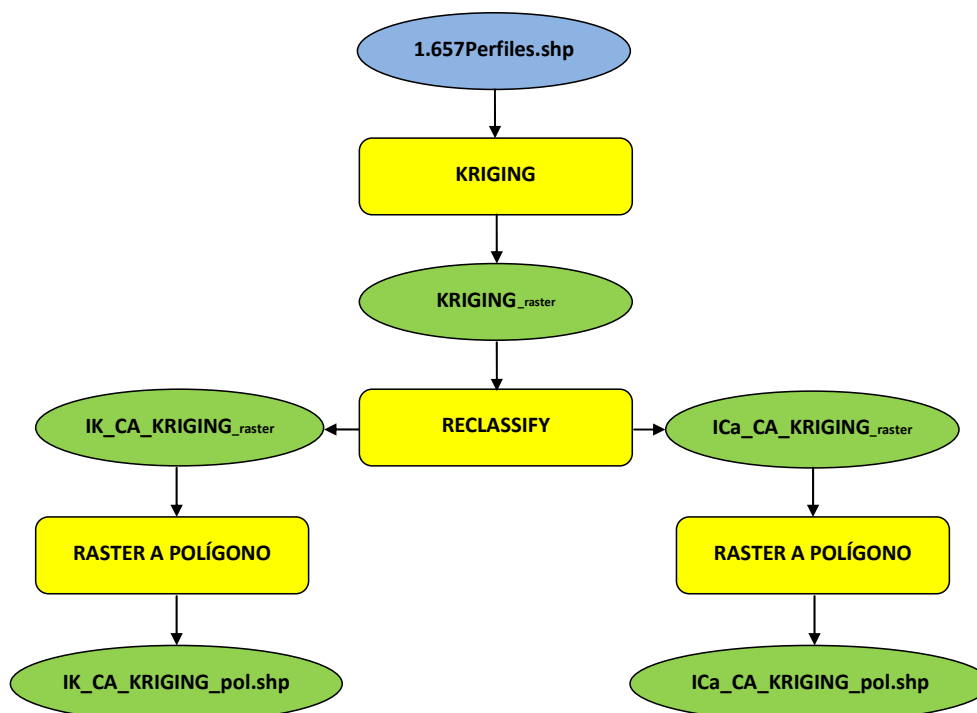


Figura 28.- Pasos para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad radiológica para los índices IK_CA e ICa_CA mediante el método de interpolación Kriging.

Tal y como puede verse en los mapas resultantes de la interpolación de los valores de los índices de vulnerabilidad de los perfiles, sobre los cuales se han colocado los propios perfiles de suelos con el color del valor del índice representado en cada mapa, existen áreas del territorio español en las que la interpolación se ha realizado a partir de perfiles muy alejados de ellas, como ocurre en la provincia de Zaragoza, Cáceres o la mitad sur de Cuenca. Por ello, se generan áreas con el mismo valor de índice de vulnerabilidad muy extensas y sin perfiles dentro de ellas, algo que contrasta con el tamaño de las áreas en las que existen muchos perfiles para poder hacer la interpolación. En este caso la densidad de perfiles por unidad de superficie condiciona el tamaño de las regiones para cada valor de índice de vulnerabilidad.

En la figura 29 se muestra, a modo de ejemplo, el mapa de vulnerabilidad radiológica realizado a partir de la interpolación de los valores del índice de vulnerabilidad IK_CA (a la derecha) en contraste con la representación del mismo índice según la asignación de CODSUELOS.

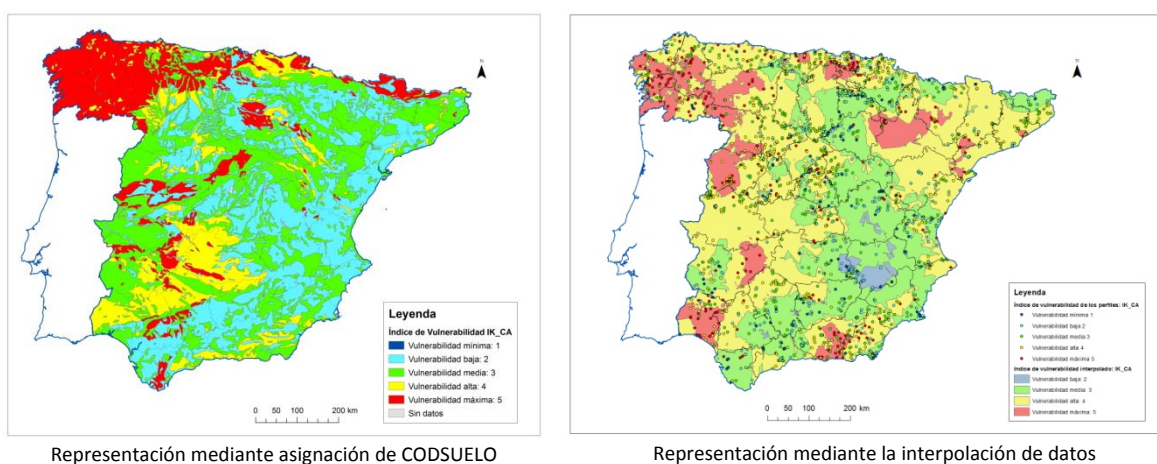


Figura 29.- Mapas del índice de vulnerabilidad IK_CA elaborados a partir de la metodología de asignación de CODSUELO según el tipo de suelo y la roca madre (izquierda) y a partir del método Kriging de interpolación.

De la comparación visual de ambos mapas puede verse cómo ambos tienen ciertas similitudes, sobre todo en el hecho de que, a grandes rasgos, la distribución de los índices sigue una misma tendencia general. Así, en la mitad oeste de la España peninsular la vulnerabilidad es mayor, destacando la comunidad de Galicia y la mitad este es donde se concentran los índices de vulnerabilidad más bajos. Es de destacar que en ambos mapas no aparecen zonas con el índice de vulnerabilidad mínimo, pero con el método de interpolación las áreas en las que la vulnerabilidad es baja se han reducido notablemente.

En cualquier caso, en la interpolación se ve cómo se han generado polígonos con el mismo valor con una superficie mucho mayor, sobre todo en las zonas donde la densidad de perfiles es más reducida. En este caso, la densidad de perfiles tiene mucha influencia en el resultado obtenido, como también lo tiene la representatividad de los perfiles para la zona donde se encuentra cada uno.

4.3 Estudio de la distribución de los perfiles de suelos

Tal y como se ha podido verificar con la aplicación de las diferentes metodologías en la representación de los índices de vulnerabilidad radiológica, existen amplias zonas en la Península Ibérica en las que no se cuenta con perfiles de suelos.

Para confirmar este hecho, se ha realizado un estudio de la distribución de los perfiles para ver si éstos están ubicados de tal forma que se generan agrupaciones entre ellos y en qué medida están concentrados. Para ello se ha empleado la herramienta *Average Nearest Neighbor* de ArcMap, cuyo informe de resultados completo se incluye en el anexo XV y en el que puede verse cómo el valor del parámetro estadístico *Z-score* es de -20,7, lo que indica que existe una fuerte concentración de los perfiles de suelos en determinadas áreas, es decir, hay formación de clusters.

Para completar el estudio de la distribución de los perfiles con los que se cuenta en la base de datos (Trueba, y otros, 2000b) se ha realizado el análisis de la densidad de los mismos a lo largo del territorio peninsular español. Para ello se ha empleado la herramienta *Point Density* de ArcMap, posteriormente se ha reclasificado el mapa resultante, de tal forma que las celdas en las que la densidad es inferior a 0,0022 perfiles, quede en la clase inferior, mientras que el resto quedan clasificadas siguiendo una distribución de intervalos iguales. En la figura 30 se muestra la distribución de los intervalos de valores de densidad en el mapa de salida en el que se representa la densidad de perfiles.

En la figura 31 se muestra el resultado del mapa de densidades tras aplicar una paleta de color para poder distinguir las zonas de menor y mayor densidad, de las zonas de densidad intermedia.

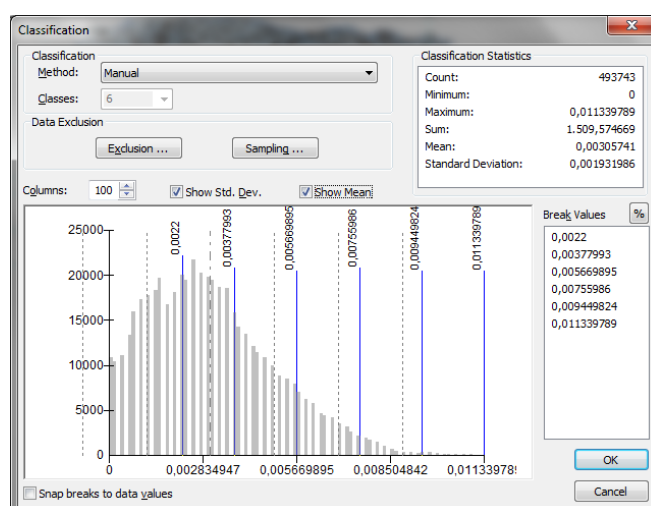


Figura 30.- Gráfica de distribución de los intervalos de valores de densidad en el mapa densidad de perfiles.

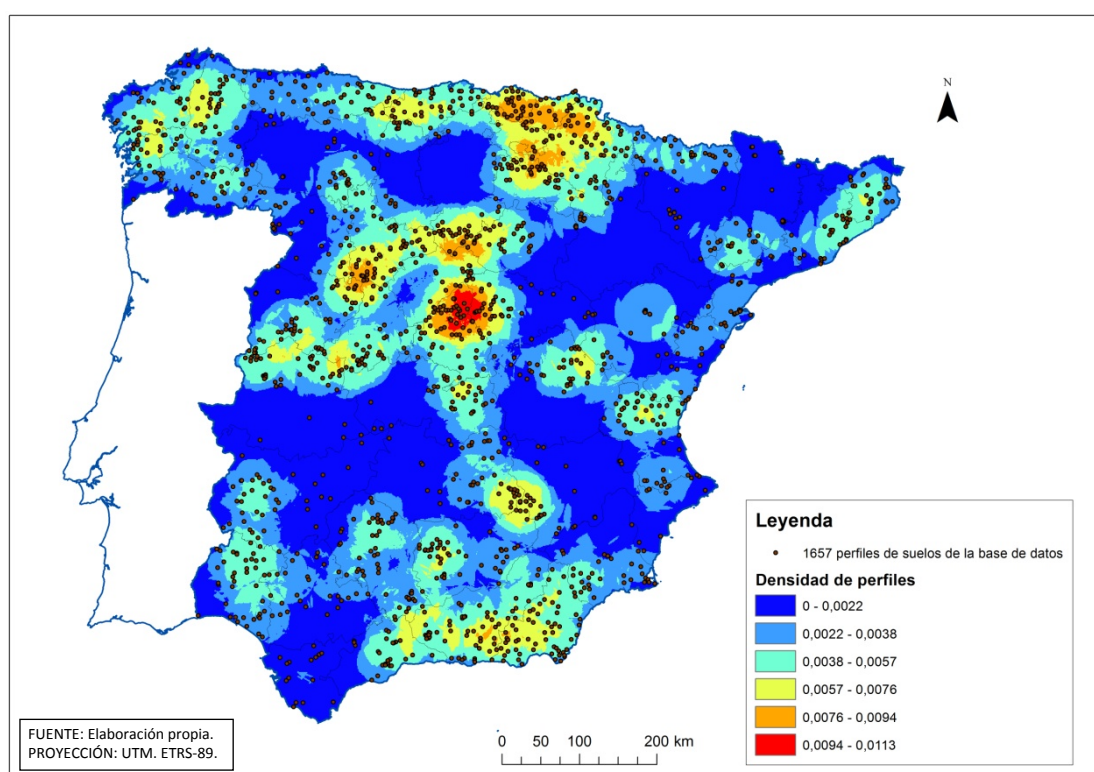


Figura 31.- Mapa de densidad de distribución de los perfiles de suelos en la España peninsular.

A partir de este mapa se han diferenciado dos zonas, tomando el valor de corte en 0,0022; una con una densidad de perfiles considerada como baja, donde no hay perfiles o hay una densidad de perfiles insuficiente y la otra en la que la densidad de perfiles es alta, o, al menos se ha considerado como suficiente. Posteriormente se ha procedido a convertir el mapa a formato vectorial. En el diagrama de la figura 32 aparecen los pasos descritos para la creación del mapa de zonas consideradas con baja y alta densidad y el mapa resultante de los pasos descritos se muestra en la figura 33.

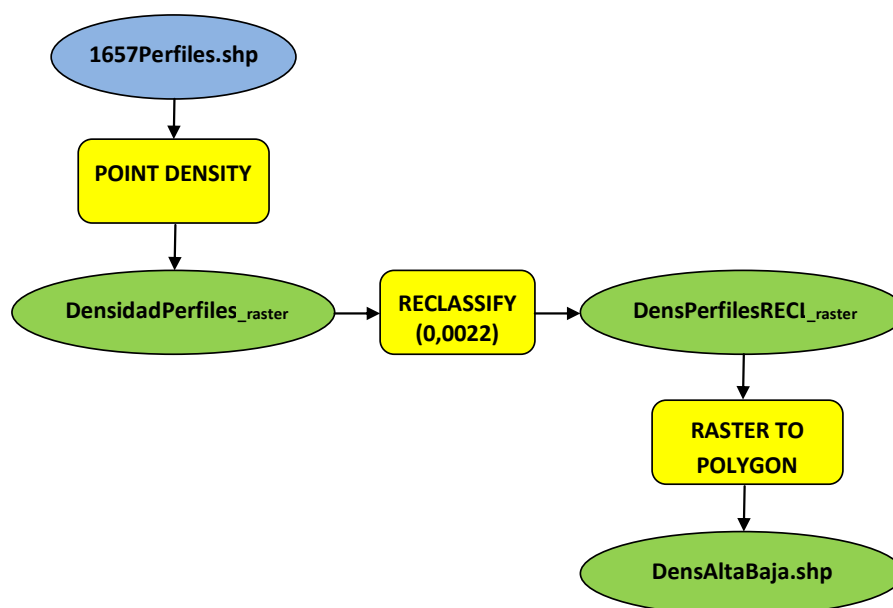


Figura 32.- Pasos para la elaboración del mapa de densidad de perfiles de suelos simplificado.

La densidad de perfiles en todo el territorio peninsular español es de 0,0036 puntos/km², hay 1.460 perfiles en las zonas con alta densidad de perfiles y tan sólo 197 en las zonas donde la densidad es baja.

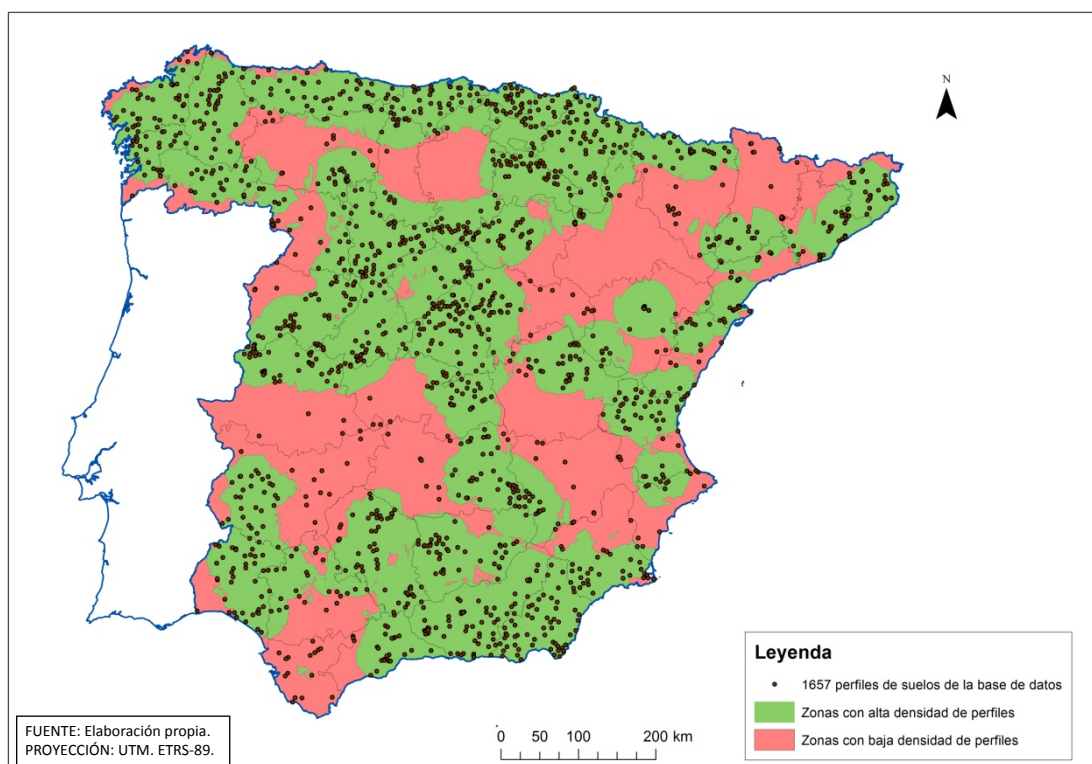


Figura 33.- Mapa de densidad de perfiles de suelos en la España peninsular simplificado con los perfiles de suelos existentes en la base de datos actual.

Se ha calculado, para cada polígono resultante de la reclasificación mostrada anteriormente en el que la densidad de perfiles es baja, el número de perfiles necesario para mantener la densidad con la que se cuenta actualmente en todo el territorio español peninsular, habiendo calculado el área de cada uno de ellos de forma previa. Así, utilizando la herramienta *Create Random Points* de ArcMap, se han ubicado, de forma aleatoria, los puntos en los que se podrían llevar a cabo calicatas para la descripción de los perfiles del suelo. Con la herramienta *Merge* se ha creado una única capa con los 444 puntos que podrían utilizarse para ampliar la base de datos de los perfiles, (a los que se les puede añadir sus coordenadas, utilizando la herramienta *Add XY Coordinates*) y de la misma forma se ha creado una única capa de perfiles de puntos uniendo los 1.657 de la base de datos actual y los 444 perfiles propuestos. Así, en total se contaría con 2.101 perfiles. En el mapa que aparece en la figura 34 se muestra el resultado de los pasos descritos.

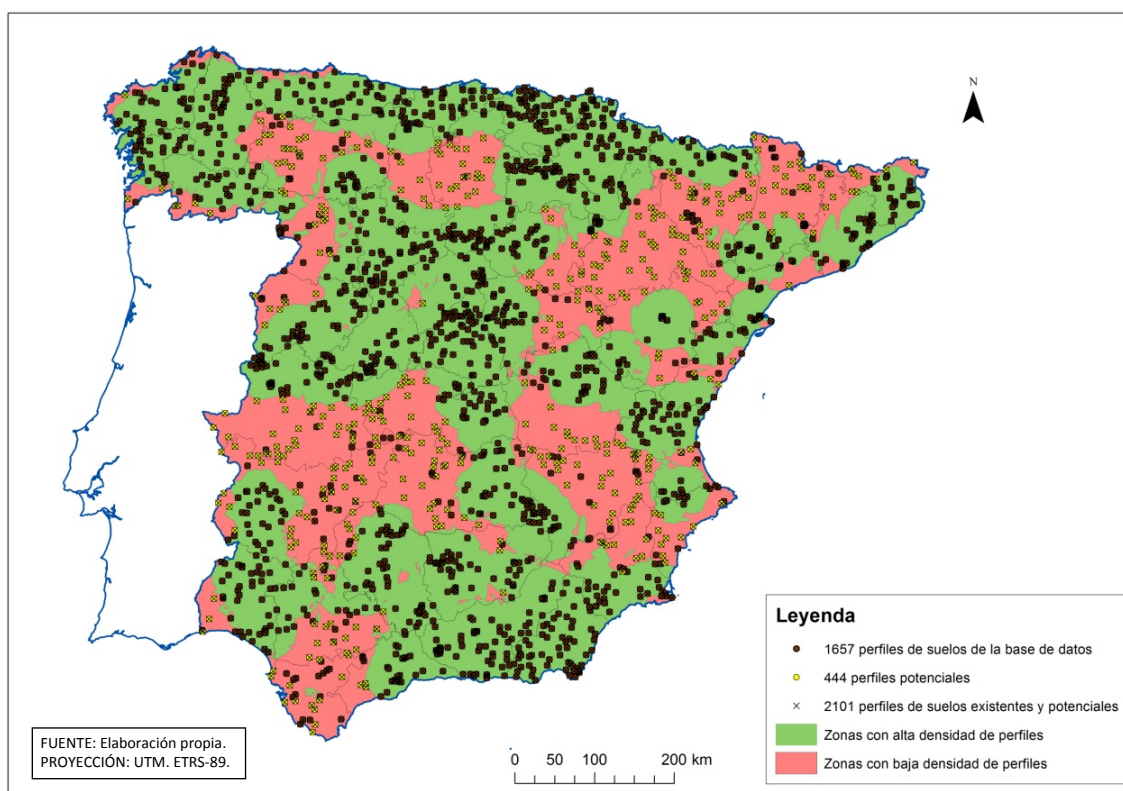


Figura 34.- Mapa de densidad de perfiles de suelos en la España peninsular, simplificado, con los perfiles propuestos para mantener la densidad de perfiles existente con la base de datos actual.

Partiendo de los 2.101 perfiles de la base de datos de perfiles completada, se ha vuelto a utilizar la herramienta *Average Nearest Neighbor* para verificar si la distribución de los perfiles sigue formando clusters. En esta ocasión el valor del parámetro *Z-score* es -13,22, lo que significa que, aunque la agrupación de los perfiles no es tan acusada como lo es en la base de datos de perfiles actual (Trueba, y otros, 2000b), siguen existiendo clusters de puntos. El informe de resultados se incluye en el anexo XVI. Con el resultado obtenido se deduce que, de los perfiles de la base de datos actual, habría que hacer una selección eliminando aquellos que aportan información redundante, por encontrarse demasiado próximos entre sí y presentar unas características prácticamente iguales entre ellos.

4.3.1 Análisis de la influencia de la calidad de la base de datos de los perfiles

La calidad de la información con la que se cuenta es fundamental para el análisis de la situación y para la adopción de las medidas de remediación adecuadas ante un eventual accidente nuclear en todo el territorio peninsular, pero es más importante aún en las zonas en las que la exposición a los radionucleidos sería previsiblemente mayor por la proximidad a las zonas de emisión de los radionucleidos.

Por ello, se ha realizado un análisis de la ubicación de las centrales nucleares españolas en relación con las áreas identificadas anteriormente como zonas con alta y baja densidad de perfiles. Se ha partido de las coordenadas de las centrales nucleares actualmente en operación en España, elaborando una capa de puntos y, alrededor de ellas se han representado las zonas de planificación de las medidas de protección establecidas en el Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN), y que quedan en un radio de 3, 5, 10 y 30 km con respecto a las centrales. También se ha representado la zona de planificación definida por el Código RASCAL en 80 km (NUREG-1940, 2012), así como la que establece la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA), que es de 100 km, ya que ambas están siendo valoradas en la actualidad por los expertos para que sean tenidas en cuenta también en determinados casos de accidentes. Para elaborar las zonas de planificación de la protección, cuyo resultado es el que aparece en la figura 35¹³ se ha empleado la herramienta *Multi Buffer*.

¹³ Para la representación de las zonas de planificación de la protección hasta los 30 km se han mantenido los colores utilizados por Protección Civil y Emergencias en presentaciones realizadas por dicho organismo (Subdirección General de Protección Civil y Emergencias, 2013).

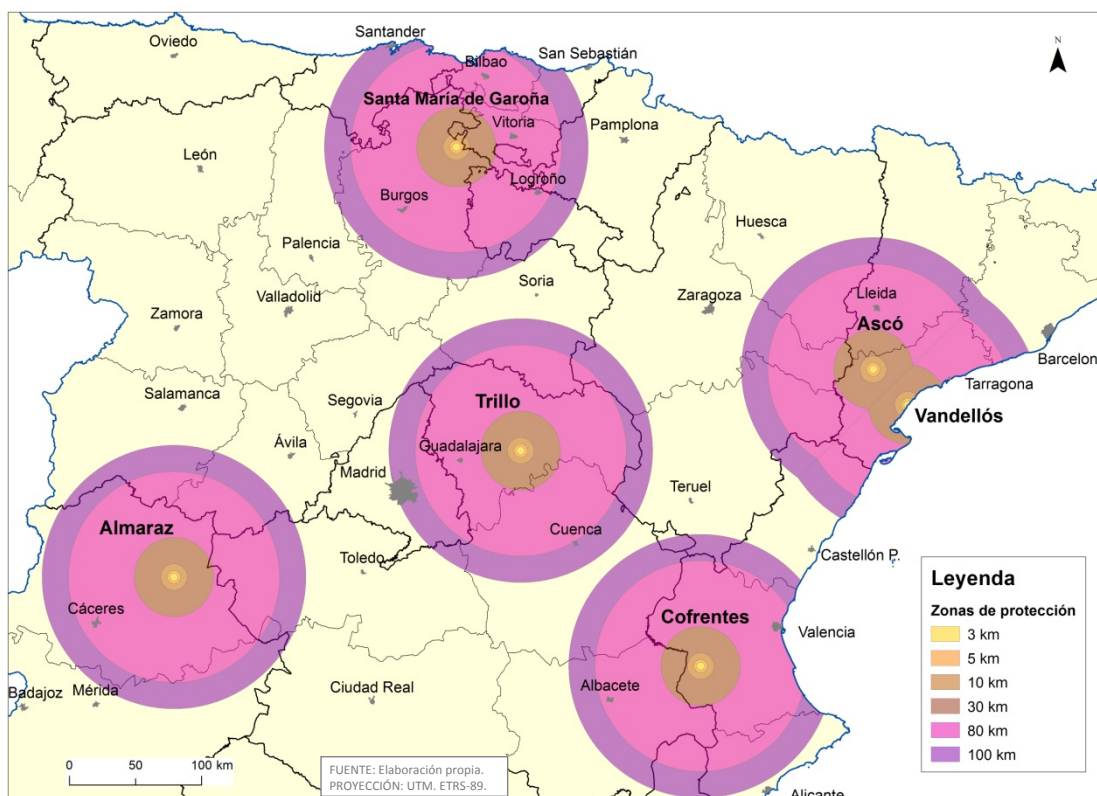


Figura 35.- Representación de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto a las seis centrales nucleares en operación. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM - ETRS89.

En la figura 36 se puede ver la ubicación de las centrales nucleares españolas y sus zonas de planificación de las medidas de protección, en relación con las áreas de alta y baja densidad de perfiles de suelos. En este caso no se han eliminado las áreas de solape de las zonas de planificación de la protección de las centrales de Ascó y Vandellós, pues estas zonas son independientes para cada central y han de estar definidas por separado para cada una de ellas.

Para las zonas de planificación de las medidas de protección de cada central nuclear se ha calculado la superficie de territorio que se encuentra en las áreas con alta y con baja densidad de perfiles de suelos, respectivamente. Para ello se ha realizado una intersección entre las áreas de protección y la capa en la que están definidas las zonas de alta y de baja densidad de puntos, utilizando para ello la herramienta *Intersect* de ArcMap, y, posteriormente, se ha calculado el área de los polígonos resultantes. En la figura 37 se muestra el diagrama con los pasos descritos.

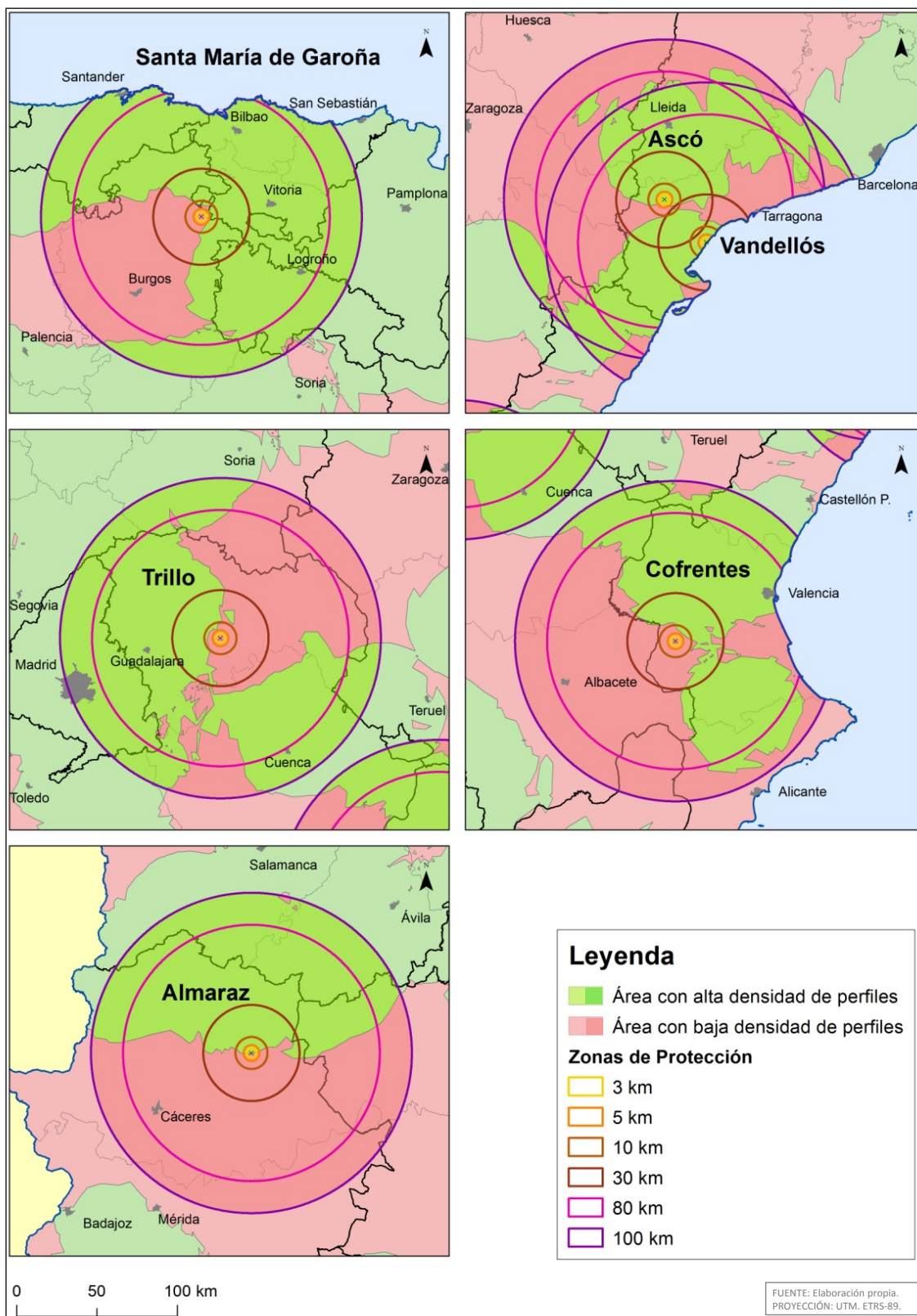


Figura 36.- Detalle de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto a las seis centrales nucleares en operación en la actualidad, en relación con las zonas de baja y alta densidad de perfiles. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM - ETRS89.

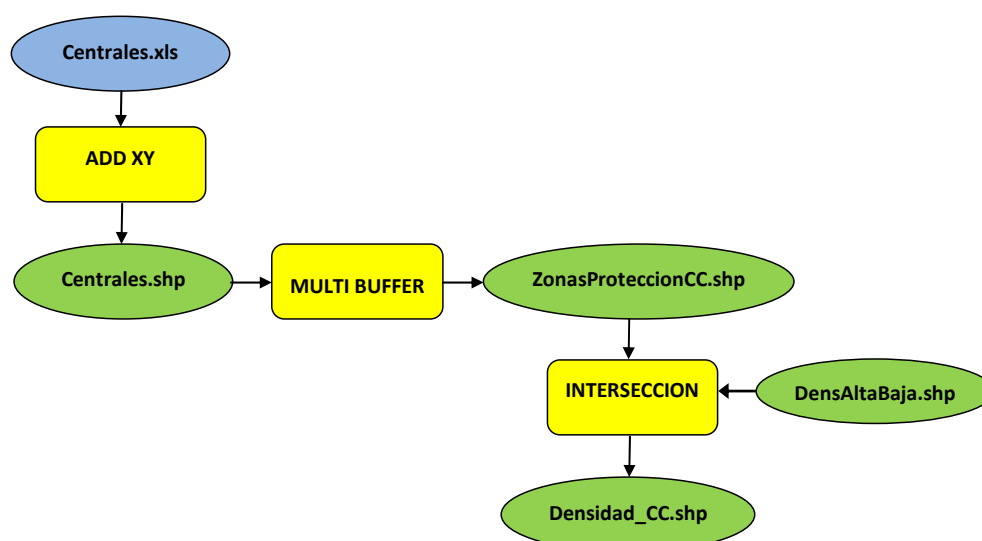


Figura 37.- Pasos para la obtención del archivo a partir del cual se han obtenido las superficies que quedan dentro de cada zona de protección, para cada central nuclear activa.

En la tabla 12 aparecen los valores de superficie, en km², obtenidos para cada zona según la densidad de perfiles.

CENTRALES NUCLEARES	ZONAS DE PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN						Superficie
	3 km	5 km	10 km	30 km	80 km	100 km	%
Almaraz	28,27	78,54	314,16	2.827,43	20.106,17	31.415,87	100
Densidad de perfiles alta	14,13	38,27	140,46	1.303,7	9.147,21	14.071,57	44,79
Densidad de perfiles baja	14,14	40,27	173,7	1.523,73	10.958,96	17.344,33	55,21
Ascó	28,27	78,54	314,16	2.827,43	17.136,71	25.369,13	100
Densidad de perfiles alta	28,27	69,91	237,31	2.245,98	9.808,76	12.639,74	49,82
Densidad de perfiles baja	0	8,63	76,85	581,45	7.327,95	12.729,39	50,18
Cofrentes	28,27	78,53	314,15	2.827,41	19.469,04	28.993,24	100
Densidad de perfiles alta	0	0	36,21	1.304,98	9.682,85	13.238,19	45,66
Densidad de perfiles baja	28,27	78,53	277,94	1.522,43	9.786,19	15.755,05	54,34
Sta. María de Garoña	28,27	78,53	314,15	2.827,42	19.620,64	28.606,19	100
Densidad de perfiles alta	0	6,48	114,95	1.762,57	14.047,16	21.177,21	74,03
Densidad de perfiles baja	28,27	72,05	199,2	1.064,85	5.573,48	7.428,98	25,97
Trillo	28,27	78,53	314,15	2.827,41	20.106,14	31.415,87	100
Densidad de perfiles alta	0	0	44,69	1.204,3	11.725,06	19.480,44	62,01
Densidad de perfiles baja	28,27	78,53	269,46	1.623,11	8.381,08	11.935,43	37,99
Vandellós	16,56	43,73	169,85	1.666,93	12.029,13	18.828,11	100,00
Densidad de perfiles alta	16,56	43,73	169,85	1.182,63	8.124,32	11.807,79	62,71
Densidad de perfiles baja	0	0	0	484,3	3.904,81	7.020,32	37,29
Total por zona de protección	157,91	436,4	1.740,62	15.804,03	10.8467,83	164.628,44	100,00

*La superficie por densidad de puntos es superficie acumulada por zonas de planificación de la protección.

Tabla 12.- Superficie que queda dentro de las zonas de planificación de la protección de cada central nuclear, distinguiendo entre las áreas con baja densidad de perfiles y las áreas con alta densidad de perfiles.

Como puede verse en los mapas elaborados y en la tabla 12, existen grandes áreas situadas dentro de las zonas de planificación de la protección de las Centrales Nucleares para las que la caracterización de los suelos no se puede realizar si no es extrapolando datos de otras áreas, con las incertidumbres que ello puede generar.

Se han representado también las zonas de planificación de las medidas de protección de las Centrales sobre los diferentes mapas de índices de vulnerabilidad. Estos mapas se incluyen en el anexo XVII.

Al igual que se ha actuado con las Centrales Nucleares, se ha representado el Almacén Temporal Centralizado de Villar de Cañas (Cuenca), ATC, que se está construyendo en la actualidad, promovido por ENRESA. En la figura 38 se incluye el mapa con el resultado de dicha representación y en la tabla 13 se muestran las áreas calculadas para cada zona de planificación (representadas a las mismas distancias que para las Centrales Nucleares).

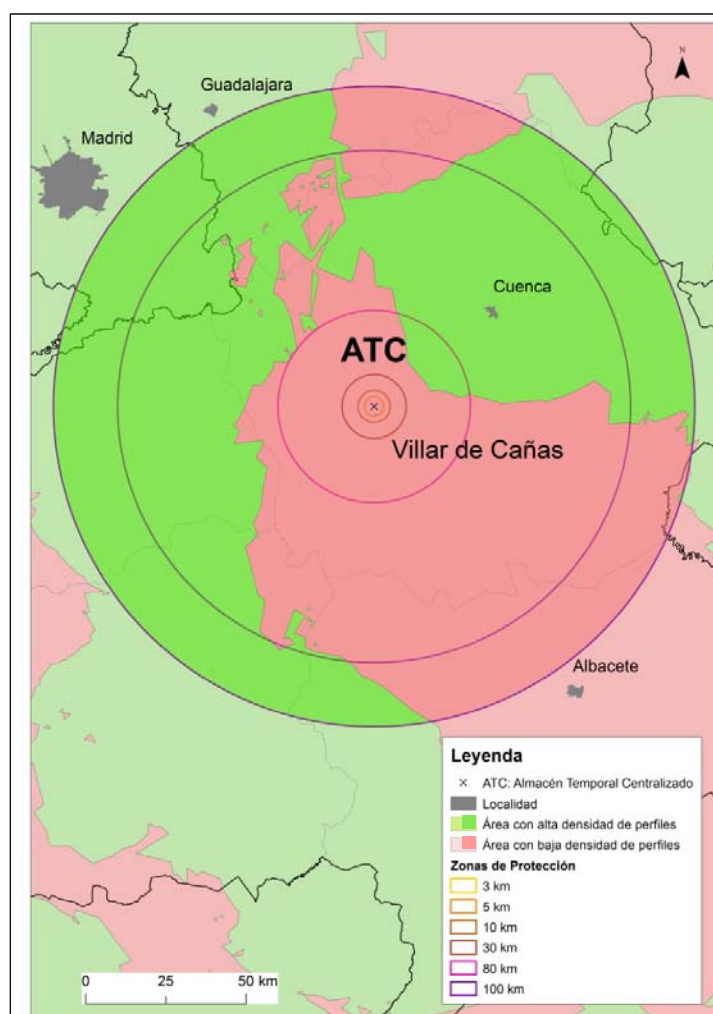


Figura 38.- Representación de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto al ATC, en relación con las zonas de baja y alta densidad de perfiles. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM. ETRS89.

ATC	ZONAS DE PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN						Total
	3 km	5 km	10 km	30 km	80 km	100 km	
Densidad de perfiles alta	0	0	0	295,12	9.358,00	7.674,16	17.327,28
Densidad de perfiles baja	28,27	50,26	235,62	2.218,15	7.920,74	3.635,56	14.088,60
Total general	28,27	50,26	235,62	2.513,27	17.278,74	11.309,72	31.415,88

Tabla 13.- Superficie que queda dentro de las zonas de planificación de la protección de cada central nuclear, distinguiendo entre las áreas con baja densidad de perfiles y las áreas con alta densidad de perfiles.

Para el caso del ATC, el 55,15% de la superficie del total de las zonas de planificación de la protección coincide con la zona de alta densidad de perfiles, mientras que el 44,85% restante se encuentra en la zona donde la densidad de perfiles es baja.

5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

El CIEMAT elaboró, en el año 2000, los mapas de vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles, entendiendo por vulnerabilidad radiológica la potencialidad del suelo a retener o a hacer disponibles al medio ambiente los radionucleidos Cs137 y Sr90. Para ello se aplicó una metodología desarrollada dentro del Programa de I+D “Protección Radiológica por Intervención perteneciente al Departamento de Impacto Ambiental de la Energía”, con el objetivo de conocer con antelación el comportamiento del radiocesio y radioestroncio en los suelos del área de estudio, para ayudar en la planificación de las medidas de protección adecuadas en caso de un accidente nuclear.

Para ello, primeramente se definieron los índices de vulnerabilidad radiológica de los suelos. Los índices de vulnerabilidad parciales son el índice de retención hídrica (IH), el índice de infiltración (IF), los índices de retención físico-química (IFQ) y los índices de contenido en K y Ca (IK e ICa, respectivamente). Para todos los índices se calcula su valor frente al riesgo de exposición por irradiación externa (IE) y por su entrada a la cadena alimentaria (CA), salvo para los índices IK e ICa, para los que sólo se calculan los índices frente al riesgo en la cadena alimentaria. Los índices de retención físico-química se calculan por separado para cada radionucleido, además de para cada vía de riesgo.

Por lo tanto, los índices de vulnerabilidad parciales definidos son los siguientes: IH_IE, IH_CA, IF_IE, IF_CA, IFQCs_IE, IFQCs_CA, IFQsr_IE, IFQsr_CA, IK_CA e ICa_CA. Los índices de vulnerabilidad radiológica totales se obtienen con la suma de los índices parciales para cada radionucleido y para cada vía de riesgo, es decir, se obtienen los siguientes índices totales: T_Cs_IE, T_Sr_IE, T_Cs_CA y T_Sr_CA.

En el presente trabajo se ha llevado a la actualización y mejora de los mapas de vulnerabilidad radiológica, utilizando la misma base de datos de perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b) y aplicando la misma metodología que en la primera edición de dichos mapas (Trueba, y otros, 2000a), pero tomando como base la versión 3 del mapa de suelos Soil Geographical Data Base of Europe (SGDBE v.3) (EC, 1995), escala 1:1.000.000.

Respecto a la base de datos de perfiles de suelos, en este trabajo se ha llevado a cabo un control de calidad de la misma, haciendo hincapié en la correcta ubicación de los perfiles, y asignándoles las coordenadas UTM en el datum ETRS89 y respecto al huso 30. Para ello ha sido preciso utilizar la aplicación del IGN PAG1.1 (IGN, 2014b), para transformar las coordenadas de cada perfil que aparecían en la base de datos. Con ello se ha podido elaborar una capa con la información de los perfiles de suelos georreferenciada y con la que no se contaba hasta la fecha.

Como se ha indicado, el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) tomado como base de representación se organiza de tal forma que los polígonos de suelos quedan englobados en las denominadas unidades cartografiables de suelos, SMU. Los SMU son agrupaciones de polígonos que comparten propiedades geográficas y pedogénicas, y que están caracterizadas por el tipo de suelo (STU) que predomina en ellas (el que más superficie ocupa); este suelo es el llamado STU dominante. Partiendo de la capa con los polígonos de suelos georreferenciados y mediante la unión de ésta con las tablas en las que aparecen las propiedades geográficas y pedológicas de los STU, se ha elaborado un mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad radiológica.

Partiendo del STU dominante, y en función de su clasificación según la leyenda de la FAO-UNESCO 1974, modificada en el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995), a cada SMU se han atribuido unos códigos de suelos: CODSUELO, para cuya asignación se ha tenido en cuenta también el tipo de sustrato sobre el que se encuentra el suelo. Por otro lado, se ha atribuido un CODSUELO a los perfiles de suelos de la base de datos, siguiendo los mismos criterios que para los SMU del mapa. El valor de cada índice de vulnerabilidad es el valor de la moda de los índices que quedan incluidos en cada CODSUELO.

Así, a cada SMU del mapa le corresponde un CODSUELO y, a cada, CODSUELO le corresponde un valor de cada uno de los índices de vulnerabilidad calculados a partir de la base de datos de los perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b). De este modo, mediante la unión de tablas entre el mapa de suelos base y los perfiles, es posible representar los índices de vulnerabilidad de los suelos de la Península Ibérica.

Al contar con 14 mapas de vulnerabilidad radiológica, uno por cada índice, para obtener una representación correcta de cada uno de ellos se ha utilizado la herramienta *Dissolve* de ArcMap, con lo que se obtiene una simplificación del mapa, agrupando los polígonos adyacentes con el mismo valor para cada índice de vulnerabilidad.

Con la actualización de los mapas de vulnerabilidad se han conseguido mejoras con respecto a los mapas previos (Trueba, y otros, 2000a), así como en la base de datos de perfiles (Trueba, y otros, 2000b) en relación con la recopilación y depuración de dicha base de datos y, por lo tanto, en la representatividad de los resultados de vulnerabilidad, que pasan a enumerarse a continuación:

- En el trabajo actual se han tenido en cuenta los 1.655 perfiles de la primera edición, más los dos perfiles no incluidos en la versión anterior, lo que hace un total de 1.657 perfiles.
- Se ha llevado a cabo una revisión de la base de datos de los perfiles de suelos españoles (Trueba, y otros, 2000b) en lo que se refiere a la localización de los mismos, trabajo que ha permitido, además, realizar un control de calidad general de la base de datos. Con ello, se ha podido construir una capa de puntos con la información de la base de datos de los perfiles.
- Se ha utilizado como mapa base un mapa de suelos actualizado (EC, 1995) más detallado y en el que aparecen más tipos de suelos de los que aparecían en el mapa de suelos base (CEC, 1985) empleado en la primera edición de los mapas de vulnerabilidad (Trueba, y otros, 2000a).

- Para representar la vulnerabilidad radiológica de los suelos, aplicando la misma metodología que para la primera edición del mapa de vulnerabilidad radiológica de suelos (Trueba, y otros, 2000a), se han podido utilizar 1.386 perfiles de suelos de los 1.657 perfiles completos, mientras que en los mapas de la primera edición (Trueba, y otros, 2000a) tan sólo se pudieron emplear 1.060 perfiles de la base de datos de perfiles completos. Los perfiles completos no utilizados en sendas ediciones no tenían correspondencia con polígonos del mapa de suelos, lo que indica la mejora substancial entre el mapa de suelos empleado en este trabajo (EC, 1995) frente al del año 2000 (CEC, 1985).
- Así, el mapa de suelos (CEC, 1985) utilizado en la edición anterior contaba con 62 SMUs para la España peninsular, frente a los 72 SMUs con código español de la edición actualizada del mapa de suelos (EC, 1995) tomado como base en el presente trabajo. En el total del territorio peninsular existen 78 SMUs diferentes.
- Además, en el mapa de suelos utilizado en el año 2000 se habían diferenciado 27 tipos de suelos distintos según la leyenda de la FAO-UNESCO aplicada en el mapa de suelos del año 1985, mientras que en la edición actualizada se distinguen 36 tipos de suelos (sólo para el territorio español peninsular). Con ello, el número de CODSUELOS representables ha aumentado, de 36 a 44 para España, con lo que se ha podido hacer una representación de los índices de vulnerabilidad más detallada.
- Con el trabajo realizado se cuenta con los archivos digitales de los mapas en formato vectorial, de mejor calidad y detalle que los de formato ráster obtenidos en la primera edición (Trueba, y otros, 2000a).
- En la edición de 2014 se tienen los mapas de vulnerabilidad radiológica de toda la Península Ibérica, además de los de la España peninsular.
- A partir de los archivos obtenidos es posible incorporar datos de nuevos perfiles de suelos de manera relativamente sencilla y automática.
- Dado que se ha trabajado con un mapa de suelos común para todos los países europeos, es posible unir el mapa de vulnerabilidad radiológica de la Península Ibérica con los mapas de vulnerabilidad radiológica que elaboren los países vecinos.

De la comparativa visual entre los mapas de vulnerabilidad radiológica del año 2000 y del año 2014 se puede concluir que, para los índices IK_CA e ICA_CA la distribución de todos los valores sigue la misma tendencia general en ambos y que no existen diferencias substanciales entre ellos. No obstante, para el índice IK_CA tomado como ejemplo, se han detectado diferencias relevantes de carácter local, relacionadas principalmente con las áreas en las que actualmente se han identificado como suelos dominantes los Bh y, en menor medida, a los Lc, Rd, Qc, Ql, Jc, Zo y Xk.

La representación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos utilizando el parámetro CODSUELO como enlace entre el mapa y los perfiles de la base de datos, tiene las siguientes fortalezas:

- Se parte de una buena base de representación: el mapa de suelos, que, hasta la fecha, se ha ido actualizando y que se prevé que se siga actualizando en un futuro.
- Se obtiene un mapa de vulnerabilidad con un escaso número de polígonos sin datos, pues se cuenta con una base de datos (Trueba, y otros, 2000b) en la que se incluyen perfiles de todas menos cuatro clases de suelos peninsulares (según el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995)), las cuales representan una superficie mínima con respecto al conjunto del territorio.
- Es el mejor de los métodos considerados para representar la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles, partiendo de la base de datos de perfiles con la que se cuenta.

No obstante, el empleo del parámetro CODSUELO para la representación de la vulnerabilidad radiológica presenta ciertas debilidades, las cuales se enumeran a continuación:

- Con este método de representación se depende de un mapa de suelos elaborado por terceros.
- Los valores de los índices de vulnerabilidad de los polígonos de suelos no corresponden con los de los perfiles que quedan incluidos en ellos, ya que, con el método de la utilización del parámetro CODSUELO no se tiene en cuenta la posición geográfica de los perfiles, sino su clasificación como suelo.

- Existen tipos de suelos para los que para asignar el valor del índice de vulnerabilidad se cuenta con un gran número de perfiles, mientras que para otros tipos de suelos el número de perfiles es muy reducido, o incluso no se tienen perfiles de algunos tipos de suelos (concretamente, para toda la Península, de cuatro).

Teniendo en cuenta las limitaciones observadas en el método de representación empleando el parámetro CODSUELO, se han considerado dos posibles metodologías alternativas para la representación de la vulnerabilidad radiológica en el territorio peninsular español. Estas dos metodologías se han aplicado, a modo de ejemplo para los índices IK_CA e ICa_CA. Los pasos y herramientas utilizados para sendas representaciones se describen en el apartado 4.2. de este documento.

Una de estas metodologías es la unión espacial entre el mapa de suelos y los perfiles, de tal forma que, para cada índice, cada polígono del mapa de suelos toma el valor de la moda de los perfiles que quedan dentro de él.

La otra forma de representar la vulnerabilidad radiológica es la interpolación de los valores de cada índice de los perfiles de suelos de la base de datos, para lo que se ha empleado el método de Kriging.

En ambos métodos se aprecia una tendencia general en la distribución de los valores de los índices de vulnerabilidad representados, similar a la del método que utiliza el parámetro CODSUELO. Las diferencias en los valores de los índices de vulnerabilidad entre los dos nuevos métodos utilizados en este trabajo y el del empleo del CODSUELO no serían atribuibles, en todos los casos, a las propiedades de los suelos, sino a la representatividad de los perfiles con los que se cuenta en determinadas regiones españolas y a la distribución de los mismos.

Las ventajas de ambos métodos frente a la metodología de asignación de CODSUELO es que se utiliza la base de datos de perfiles completa y se tiene en cuenta la ubicación de los perfiles de suelos; de tal forma que se asignan los valores reales de cada índice de vulnerabilidad radiológica a cada área del territorio.

No obstante, ambos tienen importantes inconvenientes, relacionados con el número y la distribución de perfiles de suelos de la actual base de datos.

En cuanto al método de la unión espacial entre el mapa y los perfiles el mayor inconveniente que presenta este método es que la base de datos de los perfiles contiene, tanto perfiles representativos de las zonas en las que se han tomado, como perfiles singulares en su área, por lo que la representatividad geográfica de los mismos es cuestionable. Esto hace que los resultados de la vulnerabilidad radiológica en ciertas zonas, aunque reales, puedan no ser los más característicos de una región. Además, a esta representatividad le influye, de manera muy determinante, el tamaño de los propios polígonos de suelos, pues en polígonos muy pequeños será menos probable que quede contenido en ellos un número suficiente de perfiles de suelos. Así, como se ha visto en los mapas resultantes, existe un gran número de polígonos sin datos, los cuales representan una superficie significativamente grande con respecto al conjunto del territorio peninsular español.

El método de la interpolación elimina, en parte, el inconveniente de la escasa representatividad de los perfiles en una zona que sí tiene el método de la unión espacial, pues se confeccionan áreas independientes para cada valor de cada índice. De cualquier forma, el que haya grandes superficies del territorio sin perfiles de suelos (o con un número muy escaso en comparación con otras) hace que, como ya se ha mencionado, con la unión espacial haya muchas zonas a las que no se puede atribuir ningún valor, pues no se tienen perfiles de suelos en ellas y que en la interpolación se generen zonas con valores de índices extrapolados de perfiles excesivamente alejados.

Por lo tanto, para poder utilizar cualquiera de estas dos metodologías de representación alternativas se debería contar con una base de datos de perfiles que tuviera una distribución más uniforme por todo el territorio y de la que se pudiera confirmar su representatividad geográfica.

En este sentido se ha realizado un estudio de la distribución de los perfiles en el territorio peninsular español, para el cual se han llevado a cabo los pasos que se describen en el apartado 4.3. de este informe. A partir de dicho estudio, tal y como se desprende de la interpretación del valor del parámetro *Z-score*, obtenido con la herramienta *Average Nearest Neighbor*, de ArcMap (-20,66), se ha podido demostrar que la localización de los perfiles con los que se cuenta es muy heterogénea y se distribuyen formando clusters. Esta elevada irregularidad en la densidad de perfiles entre unas zonas y otras se ha comparado con la ubicación de las instalaciones susceptibles de liberar los radionucleidos de forma accidental: las Centrales Nucleares actualmente en operación y el ATC de Villar de Cañas en construcción.

Así, a pesar de que la densidad de perfiles es, de media en toda la España peninsular de 0,0036 perfiles/km² (lo que supone un perfil por cada 278 km), se ha confirmado que existen amplias áreas en las que no se tienen perfiles de suelos dentro de las zonas de planificación de las medidas de protección de las instalaciones citadas y en las que la caracterización de suelos en ellas se realiza mediante extrapolaciones con respecto a datos de perfiles muy alejados de las mismas.

De todo ello se deduce que la base de datos de perfiles con la que se cuenta, aún siendo una base de datos con un gran número de perfiles, por una parte no todos ellos tienen los datos necesarios para calcular los índices de vulnerabilidad propuestos y algunos de los que sí los tienen no son representativos de las áreas en las que se encuentran y, por otro, la base de datos no cubre toda la superficie del territorio peninsular español. Además, existen perfiles que aportan información redundante y hay áreas en las que se ha identificado un exceso de perfiles con respecto a otras zonas.

Por ello, para sucesivas fases de estudio se propone llevar a cabo una revisión de la bibliografía existente para tomar más perfiles de suelos cuyos datos pudieran servir para calcular los índices de vulnerabilidad radiológica y que estén ubicados uniformemente en todo el territorio. También podrían realizarse trabajos de campo, eligiendo los lugares óptimos para la toma de datos de suelos y ampliar así dicha base de datos. Para esta segunda opción podrían tomarse datos de suelos en los 444 puntos obtenidos de forma aleatoria en las zonas en las que se ha detectado una baja densidad de perfiles de suelos (inferior a 0,0022 perfiles/km²). Las herramientas utilizadas para la obtención de los perfiles potenciales se describen en el apartado 4.3.

Una vez ampliada y depurada la base de datos de los perfiles, se podrían volver a representar los índices de vulnerabilidad radiológica parciales y totales mediante las tres metodologías de representación de la vulnerabilidad radiológica empleadas en este trabajo, para seleccionar la más adecuada o, incluso, estudiar otras posibles metodologías de representación.

6 REFERENCIAS

- Acuerdo CSN/CIEMAT nº 96/358. 1996. Proyecto: “Caracterización de la Vulnerabilidad Radiológica de los Suelos en caso de Accidente Nuclear Grave en relación con la Vegetación Natural y los Cultivos”. 1996.
- Ayala, F.J., y otros. 1986. Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a Escala 1:1.000.000. s.l. : I.S.B.N.: 84-7474-401-6. IGME, 1986.
- CEC. 1985. Soil Map of the European Communities 1:1 million. 1985.
- CIEMAT. “Protección Radiológica por Intervención del Departamento de Impacto Ambiental de la Energía”.
- EC. 2014. European Soil Portal - Soil Data Information System. [En línea] 20 de 04 de 2014. http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/ESDB/index.htm.
- EC. 1986. Soil Geographical Data Base of Europe, version 1, scale 1:1 million. 1986.
- EC. 1991. Soil Geographical Data Base of Europe, version 2, scale 1:1 million. 1991.
- EC. 1995. Soil Geographical Data Base of Europe, version 3, scale 1:1 million. 1995.
- EC. 2003. Soil Geographical Data Base of Europe, version 4, scale 1:1 million. 2003.
- IAEA. 2014. International Atomic Energy Agency. [En línea] 07 de 2014. <http://www.iaea.org>.
- IGME. 2014. MAGNA 50 (2ª Serie) - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. [En línea] 05 de 05 de 2014. <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp>.
- IGN. 2014a. Instituto Geográfico Nacional. Herramientas. [En línea] 01 de 04 de 2014a. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/herramientas.do>.
- IGN. 2014b. Centro de Descargas. Centro Nacional de Información Geográfica. [En línea] 3 de 6 de 2014b. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>.
- IGN, IBERPIX. 2014c. Visualizador de imágenes. [En línea] 01 de 04 de 2014c. <http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>.
- IUSS, ISRIC, FAO. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 2007.

NUREG-1940, 2012. Ramsdell, J.V. ; Atheyb, G.F.; McGuirec, S.A.; Brandond, L.K. Rascal 4: Description of Models and Methods.

Office for Official Publications of the European Communities. 1998. Atlas del Depósito de Cesio en Europa Después del Accidente de Chernobyl. 1998.

Plataforma NERIS. [En línea] [Citado el: 01 de 07 de 2014.] www.eu-neris.net.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 1999. Edafología para la Agricultura y Medio Ambiente. Madrid : Ed. Mundi-Prensa, 1999.

REAL DECRETO 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN).

REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.

Rosa, de la. 2008. Evaluación Agro-ecológica de Suelos. s.l. : Ediciones Mundi-Prensa, 2008.

Subdirección General de Protección Civil y Emergencias. 2013. Jornada Técnica sobre Planes de Autoprotección de Centros Escolares. Presentación. 26 de 02 de 2013.

Tanarro. 1986. Radiaciones Ionizantes. Instalaciones Radiactivas y de Rayos X. 1986.

Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Lago, C. 2000a. Estimación de Índices de Vulnerabilidad Radiológica para los Suelos Peninsulares Españoles. 2000a.

Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Lago, C. 2000b. Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles. s.l.: CD-Rom (ISBN: 84-7834-370-9). Editorial CIEMAT, 2000b.

7 RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1.- Mapa de distribución de los depósitos de Cs137 tras el accidente de Chernobyl. (Office for Official Publications of the European Communities, 1998).	2
Figura 2.- Depósito de Cs137 en España. Atlas del Depósito de Cesio en Europa Después del Accidente de Chernobyl (Office for Official Publications of the European Communities, 1998).....	3
Figura 3.- Estado de la información aportada por los países participantes a la Base de Datos Geográfica de suelos en la actualidad.....	17
Figura 4.- Diferencias entre los límites del mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) y el de límites administrativos de la Península Ibérica (IGN).	18
Figura 5.- Selección de polígonos con superficie inferior a 25 km ²	19
Figura 6.- Detalle de la selección en la que se pueden apreciar algunas islas con menos de 25km ²	20
Figura 7.- Polígonos pertenecientes a núcleos urbanos y a cuerpos de agua en la Península Ibérica.....	25
Figura 8.- Relaciones conceptuales entre los elementos que conforman la Base de Datos Geográfica de Suelos de Europa (SGDBE) (EC, 1995).	26
Figura 9.- Relaciones establecidas entre los archivos del mapa de suelos para elaborar el mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad.	27
Figura 10.- Formato del archivo de entrada para la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas proyectadas mediante el PAG 1.1 (IGN, 2014a).	32
Figura 11.- Extracto de la base de datos de perfiles de suelos elaborado por el CIEMAT (Trueba, y otros, 2000b).	33
Figura 12.- Formato del archivo de salida con la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas proyectadas mediante el PAG 1.1. (IGN).	33
Figura 13.- Perfil M25 en relación con los mapas de suelos (SGDBE v.3 (EC, 1995)) y el mapa de límites administrativos (IGN, 2014b), a la izquierda y a la derecha el visualizador de imágenes (IGN, IBERPIX, 2014). Detalle del perfil MU25 en la base de datos de perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b) (abajo).	35
Figura 14.- Definición de las áreas para elegir los perfiles de suelos candidatos para revisar su ubicación, con respecto a los polígonos de suelos y a los límites de municipios.	37

Figura 15.- Detalle de la ubicación del perfil V65 con respecto al límite de provincia entre Alicante y Valencia.	39
Figura 16.- Representación de los perfiles de suelos antes (en rojo) y después (en verde) de la revisión de sus coordenadas.	40
Figura 17.- Representación de los perfiles de suelos para los que se han modificado sus coordenadas antes (en rojo) y después (en verde) de la revisión de su ubicación.....	40
Figura 21.- Relaciones establecidas entre los archivos del mapa base para la representación de los índices de vulnerabilidad y la tabla con la asignación del CODSUELO correspondiente a cada SMU.....	42
Figura 19.- Relaciones entre el mapa base con los CODSUELOS por SMU y la tabla con los valores de los índices de vulnerabilidad para cada CODSUELO, para obtener los índices de vulnerabilidad de cada SMU.....	43
Figura 20.- Representación del índice de vulnerabilidad IK_CA en la Península Ibérica.	45
Figura 21.- Gráfico de la representatividad de los distintos valores del índice de vulnerabilidad IK_CA para cada CODSUELO.	45
Figura 22.- Representación de los polígonos con los tres tipos de CODSUELO definidos y de aquellos que no tienen datos de suelos.....	47
Figura 23.- Representación gráfica de la superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la Península Ibérica y en la España peninsular.	49
Figura 24.- Superposición entre el mapa del índice de vulnerabilidad ICa_CA de los suelos de la España peninsular en la primera edición (en colores sólidos) y el mapa del mismo índice de vulnerabilidad de la segunda edición (en trama de puntos).....	51
Figura 25.- Relación entre el archivo del mapa base y el de la ubicación de los perfiles de suelos para obtener la relación espacial entre ambos.....	54
Figura 26.- Relación entre la capa que contiene la relación espacial entre el mapa de suelos SGDBE y el archivo con el valor de la moda de los índices de vulnerabilidad de cada polígono.....	55
Figura 27.- Mapas del índice de vulnerabilidad IK_CA elaborados a partir de la metodología de asignación de CODSUELO según el tipo de suelo y la roca madre (izquierda) y a partir de la unión espacial entre el mapa SGDBE v.3 (EC, 1995) y los perfiles de suelos (Trueba, y otros, 2000b).	56
Figura 28.- Pasos para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad radiológica para los índices IK_CA e ICa_CA mediante el método de interpolación Kriging.....	57

Figura 29.- Mapas del índice de vulnerabilidad IK_CA elaborados a partir de la metodología de asignación de CODSUELO según el tipo de suelo y la roca madre (izquierda) y a partir del método Kriging de interpolación.....	58
Figura 30.- Gráfica de distribución de los intervalos de valores de densidad en el mapa densidad de perfiles.	60
Figura 31.- Mapa de densidad de distribución de los perfiles de suelos en la España peninsular.	60
Figura 32.- Pasos para la elaboración del mapa de densidad de perfiles de suelos simplificado.	61
Figura 33.- Mapa de densidad de perfiles de suelos en la España peninsular simplificado con los perfiles de suelos existentes en la base de datos actual.....	61
Figura 34.- Mapa de densidad de perfiles de suelos en la España peninsular, simplificado, con los perfiles propuestos para mantener la densidad de perfiles existente con la base de datos actual.	62
Figura 35.- Representación de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto a las seis centrales nucleares en operación. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM - ETRS89.	64
Figura 36.- Detalle de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto a las seis centrales nucleares en operación en la actualidad, en relación con las zonas de baja y alta densidad de perfiles. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM - ETRS89.	65
Figura 37.- Pasos para la obtención del archivo a partir del cual se han obtenido las superficies que quedan dentro de cada zona de protección, para cada central nuclear activa.	66
Figura 38.- Representación de las zonas de planificación de la protección radiológica con respecto al ATC, en relación con las zonas de baja y alta densidad de perfiles. Fuente: Elaboración propia. Proyección: UTM. ETRS89.	67

TABLAS

Tabla 1.- Categorías de infiltración e índices de infiltración correspondientes.....	10
Tabla 2.- Categorías según la reserva máxima de agua admisible e índices de capacidad de retención hídrica correspondientes.	11
Tabla 3.- Categorías según la CIC e índices de retención físico-química correspondientes, para el Cs137.	12
Tabla 4.- Categorías según el pH (Porta, y otros, 1999) e índices de retención físico-química correspondientes, para el Sr.	13
Tabla 5.- Categorías e índices según el contenido en K.	14
Tabla 6.- Categorías e índices según el contenido en Ca.	14
Tabla 7.- Rangos de valores para los índices de vulnerabilidad total para la irradiación externa y categorías asignadas.	15
Tabla 8.- Rangos de valores para los índices de vulnerabilidad total para la cadena alimentaria y categorías asignadas.	15
Tabla 9.- Elementos representados en los mapa de suelos empleados para la primera y segunda ediciones de los mapas de vulnerabilidad.	21
Tabla 10.- Superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la Península Ibérica.	48
Tabla 11.- Superficie que ocupa cada uno de los valores de cada índice de vulnerabilidad en la España peninsular.	48
Tabla 12.- Superficie que queda dentro de las zonas de planificación de la protección de cada central nuclear, distinguiendo entre las áreas con baja densidad de perfiles y las áreas con alta densidad de perfiles.	66
Tabla 13.- Superficie que queda dentro de las zonas de planificación de la protección de cada central nuclear, distinguiendo entre las áreas con baja densidad de perfiles y las áreas con alta densidad de perfiles.	68

8 ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACRÓNIMOS

- ATC: Almacenamiento Temporal Centralizado.
- BCN: Base de datos cartográfica Nacional (IGN).
- CIEMAT: Centro de Investigaciones, Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- CEC: Commission of the European Communities.
- CORINE: Coordination of Information on the Environment.
- CSN: Consejo de Seguridad Nuclear.
- DG VI MARS: Directorate General for Agriculture, Monitoring Agriculture by remote Sensing.
- EC: European Commission.
- ED-50: European Datum 1950, en español Datum Europeo 1950.
- ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.
- IAEA: International Atomic Energy Agency, en español Agencia Internacional de la Energía Atómica.
- IGME: Instituto Geológico y Minero de España.
- IGN: Instituto Geográfico Nacional.
- ISRIC: International Soil Reference and Information Centre.
- IUSS: International Union of Soil Sciences.
- ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.
- ETRS89: European Terrestrial Reference System 1989, en español Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- GIS: Sistema de Información Geográfica.
- MAGNA: Mapa Geológico Nacional.
- NERIS: European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery.
- PAG 1.1: Programa de Aplicaciones Geográficas (IGN).
- PLABEN: Plan Básico de Emergencia Nuclear.
- UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- USDA: United States Department of Agriculture, en español Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

- UTM: Universal Transverse Mercator coordinate system, en español sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
- WGS84: World Geodetic System 84, en español Sistema Geodésico Mundial 1984.
- WRB: World Reference Base.

ABREVIATURAS

- CA: Cadena alimentaria (como vía de exposición).
- C_{CIC}: Categoría según la CIC.
- C_F: Categoría de infiltración.
- C_H: Categoría de retención hídrica.
- C_K: Categoría por contenido en potasio.
- C_{Ca}: Categoría por contenido en calcio.
- CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.
- CODSUELO: Código de suelo atribuido en función del tipo de suelo y de la roca madre.
- C_{pH}: Categoría según el pH.
- IE: Irradiación externa (como vía de exposición)
- IF: Índice de Infiltración.
- IFQ: Índice de Retención Físico Química.
- IH: Índice de Retención Hídrica.
- IK: Índice por el contenido en potasio.
- ICa: Índice por el contenido en calcio.
- ES: España.
- GIS: Geographic Information System.
- PI: Península Ibérica.
- PTRDB: Pedotransfer Rules Database.
- R: Reserva máxima de agua admisible.
- SGDBE: Soil Geographical Data Base of Europe.
- SMU: Soil Map Unit. Unidad de suelo cartografiable.
- STU: Soil Typological Units, en español unidad de tipo de suelo.
- T_{Cs_IE}: Índice de vulnerabilidad total por cesio frente a la irradiación externa.
- T_{Cs_CA}: Índice de vulnerabilidad total por cesio para a la cadena alimentaria.
- T_{Sr_IE}: Índice de vulnerabilidad total por estroncio frente a la irradiación externa.
- T_{Sr_CA}: Índice de vulnerabilidad total por estroncio para a la cadena alimentaria.

Máster Universitario

ANEXOS

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIG)

ANEXO I. LISTADO DE PAÍSES DEL SGDBE V.4 (EC, 2003)

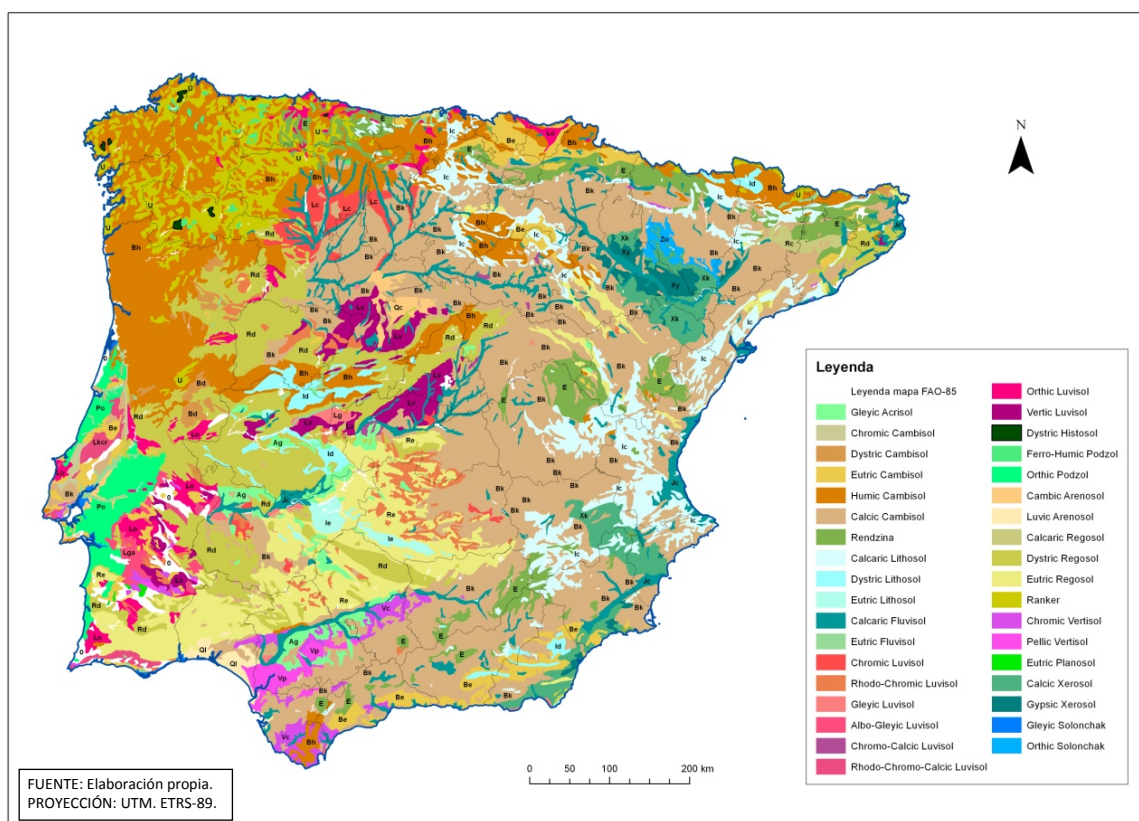


<u>CÓDIGO</u>	<u>PAÍS</u>	<u>CÓDIGO</u>	<u>PAÍS</u>
AD	ANDORRA	KZ	KAZAKSTAN
AL	ALBANIA	LB	LEBANON
AM	ARMENIA	LI	LIECHTENSTEIN
AT	AUSTRIA	LT	LITHUANIA
AZ	AZERBAIJAN	LU	LUXEMBOURG
BA	BOSNIA AND HERZEGOVINA	LV	LATVIA
BE	BELGIUM	LY	LIBYAN ARAB JAMAHIRIYA
BG	BULGARIA	MA	MOROCCO
BY	BELARUS	MC	MONACO
CH	SWITZERLAND	MD	MOLDOVA, REPUBLIC OF
CN	CHINA	MK	MACEDONIA, THE FORMER YUGOSLAV REPUBLIC OF
CY	CYPRUS	ML	MALI
CZ	CZECH REPUBLIC	MN	MONGOLIA
DE	GERMANY	MR	MAURITANIA
DK	DENMARK	MT	MALTA
DZ	ALGERIA	NE	NIGER
EE	ESTONIA	NL	NETHERLANDS
EG	EGYPT	NO	NORWAY
EH	WESTERN SAHARA	PL	POLAND
ES	SPAIN	PS	PALESTINIAN TERRITORY, OCCUPIED
FI	FINLAND	PT	PORTUGAL
FO	FAROE ISLANDS	RO	ROMANIA
FR	FRANCE	RU	RUSSIAN FEDERATION
GB	UNITED KINGDOM	SA	SAUDI ARABIA
GE	GEORGIA	SD	SUDAN
GI	GIBRALTAR	SE	SWEDEN
GR	GREECE	SI	SLOVENIA
HR	CROATIA	SK	SLOVAKIA
HU	HUNGARY	SM	SAN MARINO
IE	IRELAND	SY	SYRIAN ARAB REPUBLIC
IL	ISRAEL	TD	CHAD
IQ	IRAQ	TJ	TAJIKISTAN
IR	IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	TM	TURKMENISTAN
IS	ICELAND	TN	TUNISIA
IT	ITALY	TR	TURKEY
JO	JORDAN	UA	UKRAINE
JP	JAPAN	US	UNITED STATES
KG	KYRGYZSTAN	UZ	UZBEKISTAN
KP	KOREA, DEMOCRATIC PEOPLE'S REPUBLIC OF	YU	YUGOSLAVIA

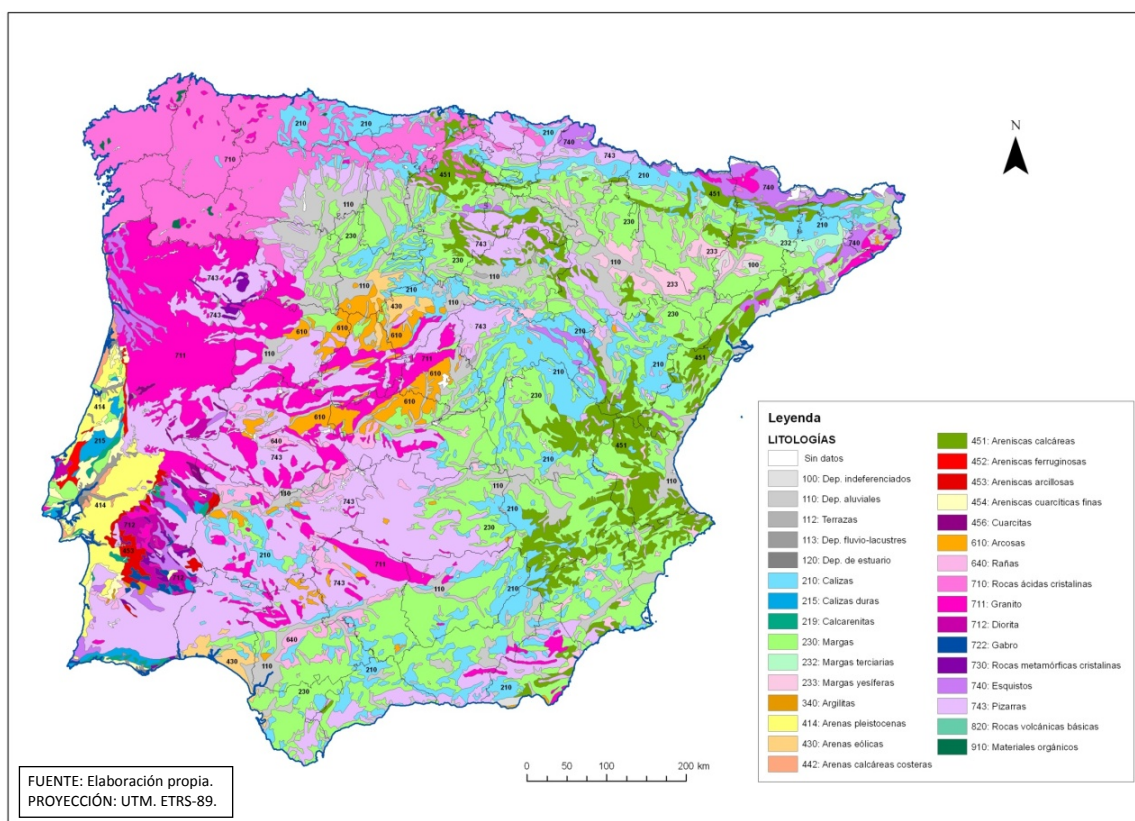
ANEXO II. NOMENCLATURA DE LA LEYENDA FAO-UNESCO 1974 MODIFICADA PARA EL MAPA SGDBE V.3 (EC, 1995)

CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE
A	Acrisol	F	Ferralsol	K	Kastanozem	Q	Arenosol
Af	Ferric Acrisol	Fo	Orthic Ferralsol	Kh	Haplic Kastanozem	Qa	Albic Arenosol
Ag	Gleyic Acrisol	G	Gleysol	Khb	Vermi-Haplic Kastanozem	Qc	Cambic Arenosol
Ah	Humic Acrisol	Gc	Calcaric Gleysol	Kk	Calcic Kastanozem	Qcc	Calcaro-Cambic Arenosol
Ao	Orthic Acrisol	Gcf	Fluvi-Calcaric Gleysol	Kkb	Vermi-Calcic Kastanozem	Qcd	Dystri-Cambic Arenosol
Ap	Plinthic Acrisol	Gcs	Stagno-Calcaric Gleysol	Kkv	Verti-Calcic Kastanozem	Qcg	Gleyo-Cambic Arenosol
B	Cambisol	Gd	Dystic Gleysol	Kl	Luvic Kastanozem	Qcs	Spodo-Cambic Arenosol
Ba	Calcaric Cambisol	Gdf	Fluvi-Dystic Gleysol	Ko	Orthic Kastanozem	Qh	Humic Arenosol
Bc	Chromic Cambisol	Gds	Stagno-Dystic Gleysol	L	Luvisol	Ql	Luvic Arenosol
Bcc	Calcaro-Chromic Cambisol	Ge	Eutric Gleysol	La	Albic Luvisol	Qld	Dystri-Luvic Arenosol
Bch	Humo-Chromic Cambisol	Gef	Fluvi-Eutric Gleysol	Lap	Plano-Albic Luvisol	Qlg	Gleyo-Luvic Arenosol
Bck	Calci-Chromic Cambisol	Ges	Stagno-Eutric Gleysol	Lc	Chromic Luvisol	R	Regosol
Bcr	Rhodo-Chromic Cambisol	Gev	Verti-Eutric Gleysol	Lcp	Plano-Chromic Luvisol	Rc	Calcaric Regosol
Bd	Dystic Cambisol	Gf	Fluvic Gleysol	Lcr	Rhodo-Chromic Luvisol	Rd	Dystic Regosol
Bda	Ando-Dystic Cambisol	Gfm	Molli-Fluvic Gleysol	Lcv	Verti-Chromic Luvisol	Rds	Undefined code
Bdg	Gleyo-Dystic Cambisol	Gh	Humic Gleysol	Ld	Dystic Luvisol	Re	Eutric Regosol
Bds	Spodo-Dystic Cambisol	Ghf	Fluvi-Humic Gleysol	Ldg	Gleyo-Dystic Luvisol	Rx	Gelic Regosol
Be	Eutric Cambisol	Ghh	Histo-Humic Gleysol	Lf	Ferric Luvisol	S	Solonetz
Bea	Ando-Eutric Cambisol	Ght	Thioni-Humic Gleysol	Lg	Gleyic Luvisol	Sg	Gleyic Solonetz
Bec	Calcaro-Eutric Cambisol	Gi	Histic Gleysol	Lga	Albo-Gleyic Luvisol	Sm	Mollic Solonetz
Bef	Fluvi-Eutric Cambisol	Gih	Humo-Histic Gleysol	Lgp	Plano-Gleyic Luvisol	So	Orthic Solonetz
Beg	Gleyo-Eutric Cambisol	Gl	Luvic Gleysol	Lgs	Stagno-Gleyic Luvisol	Sof	Fluvi-Orthic Solonetz
Bev	Verti-Eutric Cambisol	Gls	Stagno-Luvic Gleysol	Lh	Humic Luvisol	T	Andosol
Bf	Ferralic Cambisol	Gm	Mollic Gleysol	Lk	Calcic Luvisol	Th	Humic Andosol
Bg	Gleyic Cambisol	Gmc	Calcaro-Mollic Gleysol	Lkc	Chromo-Calcic Luvisol	Tm	Mollic Andosol
Bgc	Calcaro-Gleyic Cambisol	Gmf	Fluvi-Mollic Gleysol	Lkr	Rhodo-Chromo-Calcic Luvisol	To	Ochric Andosol
Bge	Eutri-Gleyic Cambisol	Gmv	Verti-Mollic Gleysol	Lkv	Verti-Calcic Luvisol	Tv	Vitric Andosol
Bgg	Stagno-Gleyic Cambisol	Gs	Stagnic Gleysol	Lo	Orthic Luvisol	U	Ranker
Bgs	Spodo-Gleyic Cambisol	Gt	Thionic Gleysol	Lop	Plano-Orthic Luvisol	Ud	Dystic Ranker
Bgv	Verti-Gleyic Cambisol (?)	Gtz	Undefined code	Lp	Plinthic Luvisol	Ul	Luvic Ranker
Bh	Humic Cambisol	Gx	Gelic Gleysol	Ls	Spodic Luvisol	V	Vertisol
Bhc	Calcaro-Humic Cambisol	H	Phaeozem	Lv	Vertic Luvisol	Vc	Chromic Vertisol
Bk	Calcic Cambisol	Hc	Calcaric Phaeozem	Lvc	Chromo-Vertic Luvisol	Vcc	Calcaro-Chromic Vertisol
Bkf	Fluvi-Calcic Cambisol	Hcb	Vermi-Calcaric Phaeozem	Lvr	Rhodo-Chromo-Vertic Luvisol	Vg	Gleyic Vertisol
Bkh	Humo-Calcic Cambisol	Hcf	Fluvi-Calcaric Phaeozem	Lvk	Calci-Vertic Luvisol	Vgs	Undefined code
Bkv	Verti-Calcic Cambisol	Hcn	Alkalino-Calcaric Phaeozem	M	Greyzem	Vp	Pellic Vertisol
Bm	Mollic Cambisol	Hcs	Saline-Calcaric Phaeozem	Mo	Orthic Greyzem	Vpc	Calcaro-Pellic Vertisol
Bv	Vertic Cambisol	Hg	Gleyic Phaeozem	Nc	Cambic Nitosol	Vpg	Gleyo-Pellic Vertisol
Bvc	Calcaro-Vertic Cambisol	Hgc	Calcaro-Gleyic Phaeozem	O	Histosol	Vpn	Sodi-Pellic Vertisol
Bvg	Gleyo-Vertic Cambisol	Hgf	Fluvi-Gleyic Phaeozem	Od	Dystic Histosol	W	Planosol
Bvk	Calci-Vertic Cambisol	Hgs	Stagno-Gleyic Phaeozem	Odp	Placi-Dystic Histosol	Wd	Dystic Planosol
Bx	Gelic Cambisol	Hgv	Verti-Gleyic Phaeozem	Oe	Eutric Histosol	Wdv	Verti-Dystic Planosol
Bxs	Spodo-Gelic Cambisol	Hh	Haplic Phaeozem	Ox	Gelic Histosol	We	Eutric Planosol
C	Chernozem	Hhv	Verti-Haplic Phaeozem	P	Podzol	Wev	Verti-Eutric Planosol
Cg	Gleyic Chernozem	Hi	Luvic Phaeozem	Pf	Ferric Podzol	Wh	Humic Planosol
Ch	Haplic Chernozem	Hlv	Verti-Luvic Phaeozem	Pg	Gleyic Podzol	Wm	Mollic Planosol
Chp	Pachi-Haplic Chernozem	Ho	Orthic Phaeozem	Pgh	Histo-Gleyic Podzol	Ws	Solodic Planosol
Chv	Verti-Haplic Chernozem	I	Lithosol	Pgs	Stagno-Gleyic Podzol	X	Xerosol
Ck	Calcic Chernozem	Ic	Calcaric Lithosol	Ph	Humic Podzol	Xk	Calcic Xerosol
Ckb	Vermi-Calcic Chernozem	Ich	Humo-Calcaric Lithosol	Phf	Ferro-Humic Podzol	Xl	Luvic Xerosol
Ckc	Calcaro-Calcic Chernozem	Id	Dystic Lithosol	Pl	Leptic Podzol	Xy	Gypsic Xerosol
Ckcb	Vermi-Calcaro-Calcic Chernozem	Ie	Eutric Lithosol	Plh	Humo-Leptic Podzol	Z	Solonchak
Ckp	Pachi-Calcic Chernozem	J	Fluvisol	Po	Orthic Podzol	Zg	Gleyic Solonchak
Cl	Luvic Chernozem	Jc	Calcaric Fluvisol	Pof	Ferro-Orthic Podzol	Zgf	Fluvi-Gleyic Solonchak
D	Podzoluvisol	Jcf	Fluvi-Calcaric Fluvisol	Poh	Humo-Orthic Podzol	Zo	Orthic Solonchak
Dd	Dystic Podzoluvisol	Jcg	Gleyo-Calcaric Fluvisol	Pol	Lepto-Orthic Podzol	Zt	Takyric Solonchak
De	Eutric Podzoluvisol	Jd	Dystic Fluvisol	Pp	Placic Podzol	p	Plaggensol
Dg	Gleyic Podzoluvisol	Jdf	Fluvi-Dystic Fluvisol	Pph	Humo-Placic Podzol		
Dgd	Dystic Gleyic Podzoluvisol	Jdg	Gleyo-Dystic Fluvisol				
Dge	Eutric Gleyic Podzoluvisol	Je	Eutric Fluvisol				
Dgs	Stagno-Gleyic Podzoluvisol	Jef	Fluvi-Eutric Fluvisol				
E	Rendzina	Jeg	Gleyo-Eutric Fluvisol				
Ec	Cambic Rendzina	Jm	Mollic Fluvisol				
Eh	Histic Rendzina	Jmg	Gleyo-Mollic Fluvisol				
Eo	Orthic Rendzina	Jmv	Verti-Mollic Fluvisol				
		Jt	Thionic Fluvisol				

ANEXO III. MAPA DE SUELOS SEGÚN LA LEYENDA FAO-UNESCO 1974 MODIFICADA PARA EL MAPA SGDBE V.3 (EC, 1995)



ANEXO IV. MAPA LITOLÓGICO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA, SEGÚN EL SGDBE, V.3 (EC, 1995)



**ANEXO V. TABLA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A CADA SMU DEL
MAPA SGDBE V.3.**

SMU	FAO85	ZMIN	ZMAX	MAT1	MAT2	PAÍS	TEXTURA	CODSUELO
340580	Je	0	1000	110		ES	2	1
3510370	Je	0	400	113	112	PT	2	1
340198	Ie	400	1100	743		ES	2	3
340201	Ic	1000	2500	210		ES	2	5
340230	Ic	0	2800	451	230	ES	2	5
330114	Ic	0	0			FR	0	5
340202	Id	500	3500	711	450	ES	1	6
340596	Id	500	3500	711	450	ES	1	6
340203	Qc	700	700	430		ES	1	7
3510371	Qc	0	100	442	414	PT	1	7
340204	Ql	0	200	430		ES	1	8
340205	U	0	3000	710	743	ES	2	9
3510375	U	900	1990	711	740	PT	2	9
340595	U	0	0			ES	0	9
340208	Vp	0	200	230		ES	4	12
340209	Vp	0	50	110		ES	4	12
3510376	Vp	150	300	712	722	PT	4	12
340210	Vc	50	400	230	450	ES	4	14
340211	Vc	100	900	230	300	ES	4	14
3510377	Vc	0	300	722	822	PT	4	14
340213	Zg	0	20	110	230	ES	4	15
3510378	Zg	0	3	120		PT	4	15
340219	Xy	50	600	233	240	ES	2	19
340220	Xy	200	1000	233	210	ES	2	19
340229	Be	50	2000	743	451	ES	2	21
340586	Be	100	2500	743	450	ES	2	21
3510379	Be	0	400	454	422	PT	1	21
3510381	Be	100	700	711		PT	1	21
3510383	Bd	100	800	711		PT	1	22
3510384	Bd	100	800	456	740	PT	1	23
330637	Bd	0	0			FR	0	23
340226	Bh	0	2500	710	743	ES	2	24
3510385	Bh	300	1000	711		PT	1	24
3510387	Bh	0	1000	711	740	PT	2	24
340251	Lv	300	900	610		ES	1	37
3510400	Lv	100	300	712		PT	2	37
3510403	Lga	0	300	453	712	PT	1	38
340254	Phf	50	1700	711	450	ES	2	39
3510406	We	100	200	340	310	PT	1	40
340257	Od	350	1500	910		ES	8	42
340214	Xk	50	1000	451		ES	3	116
340215	Xk	50	800	230		ES	2	117
340216	Xk	50	800	230		ES	2	117
340217	Xk	50	900	230	210	ES	2	117
340218	Xk	0	600	100	120	ES	2	118
340225	Bh	200	3000	743	450	ES	2	124
340594	Bh	200	3000	740	450	ES	2	124
3510386	Bh	0	100	454	112	PT	1	124
3510388	Bh	0	650	740		PT	2	124
340233	Bk	100	1300	210	451	ES	2	126
340238	Bk	400	1600	210		ES	2	126
340250	Bk	50	950	210	200	ES	2	126
340212	Bk	500	700	110	230	ES	3	127

SMU	FAO85	ZMIN	ZMAX	MAT1	MAT2	PAÍS	TEXTURA	CODSUELO
340227	Bk	10	900	110		ES	2	127
340589	Bk	-999	-999	100		ES	2	127
340590	Bk	-999	-999	100		ES	2	127
340231	Bk	50	1800	230	451	ES	4	128
340232	Bk	50	1800	230	451	ES	4	128
340234	Bk	20	1500	230	451	ES	4	128
340235	Bk	20	1500	230	451	ES	4	128
340236	Bk	100	1600	230	240	ES	3	128
340237	Bk	100	1600	230	240	ES	3	128
340239	Bk	0	800	230	216	ES	2	128
340240	Bk	0	800	230	216	ES	2	128
340593	Bk	-999	-999	230	216	ES	2	128
3510389	Bk	0	400	230	216	PT	2	128
340241	Bk	50	1000	233	230	ES	3	129
340247	Lo	100	2400	210	451	ES	2	132
3510392	Lo	200	400	743	740	PT	2	133
3510393	Lo	200	400	743	740	PT	2	133
3510394	Lo	200	400	712	743	PT	1	133
3510395	Lo	400	800	743	731	PT	2	133
3510396	Lo	100	500	743	740	PT	2	133
340196	Jc	0	1000	110		ES	2	201
340197	Jc	0	60	110		ES	3	201
340581	Jc	-999	-999	110		ES	2	201
340583	Jc	-999	-999	232		ES	4	201
340222	Rd	-999	-999	711	743	ES	1	202
340587	Rd	-999	-999	711		ES	1	202
340588	Rd	-999	-999	740	711	ES	2	202
342212	Rd	-999	-999	743	450	ES	2	202
342213	Rd	-999	-999	743	450	ES	2	202
340228	E	0	2000	210		ES	3	203
340256	Ag	250	1200	640	323	ES	1	204
340584	Zo	-999	-999	230		ES	2	205
340585	Re	-999	-999	740		ES	2	206
342211	Re	-999	-999	743	450	ES	2	206
340592	Rc	-999	-999	232	451	ES	2	207
3510390	Bc	0	300	452	600	PT	1	208
3510404	Po	0	100	414	454	PT	1	209
3510405	Po	0	200	414	454	PT	1	209
340255	Lg	200	400	610	300	ES	1	238
340591	Lc	10	900	110		ES	2	239
340582	Lc	100	900	230	300	ES	4	240
340245	Lcr	300	1000	610	743	ES	2	241
340246	Lcr	300	1000	743	712	ES	2	242
3510397	Lcr	0	900	730	750	PT	2	243
340249	Lkc	600	950	112	100	ES	2	244
340252	Lkc	500	900	610	112	ES	2	245
3510398	Lkcr	0	700	215		PT	4	246
340206	To	-999	-999	820		ES	2	SIN PERFILES
340207	To	-999	-999	820		ES	3	SIN PERFILES
3510391	Bcc	0	300	219	350	PT	4	SIN PERFILES
3510401	Lf	0	400	740		PT	2	SIN PERFILES
3510402	Lf	50	200	640	512	PT	1	SIN PERFILES
3510372	Qh	0	100	442	414	PT	1	SIN PERFILES

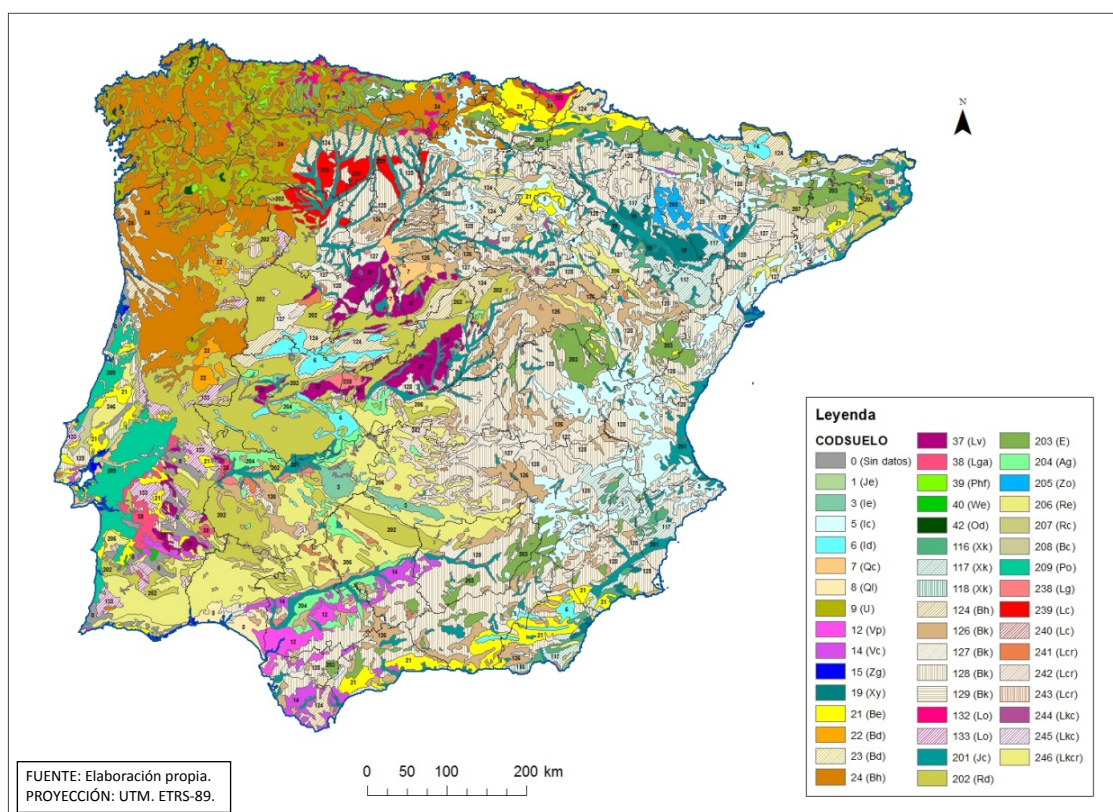
- FAO85: Clasificación de suelos según la leyenda FAO-UNESCO-1974 modificada para el mapa de suelos para el STU dominante en cada SMU.
- ZMIN y ZMAX: altura mínima y máxima, respectivamente, en la que se encuentra cada SMU, al que le corresponde un tipo de suelo dominante.
- TEXTURA: 0 y 8: Sin datos; 1: Franca (18% < arcilla y > 65% arena);
2: Media (18% < arcilla < 35% y >= 15% arena, or 18% < arcilla y 15% < arena < 65%);
3: Media-fina (< 35% arcilla y < 15% arena);
4: Fina (35% < arcilla < 60%);
5: Muy fina (arcilla > 60 %).
- MAT1 y MAT2: tipo de roca madre principal y secundaria, respectivamente. Los códigos atribuidos a cada material aparecen en las tablas siguientes

CÓDIGO DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	CÓDIGO DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	CÓDIGO DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
100	Undifferentiated alluvial deposits (or glacial deposits)	300	Clayey materials	431	Locally sandcover
110	River alluvium	310	Old clayey sedimentary deposits	440	Coastal sands (Dune sands)
111	Old fluvial deposit (Tertiary)	311	Primary clay and sandstone	441	Shelly coastal sands
112	Terraces	312	Secondary clay	442	Non calcareous coastal sands
113	Lacustrifluvial alluvium	313	Tertiary clay	450	Sandstone
120	Estuarine/Marine alluvium	314	Pleistocene clay	451	Calcareous sandstone (Macigno)
130	Glaciofluvial deposits	319	Residuum from old clayey sedimentary deposits	452	Ferruginous sandstone (Old Red sandstone)
131	Till	320	Alluvial or glaciofluvial clay	453	Clayey sandstone
140	Glaciofluvial drift	321	Tertiary alluvial clay	454	Soft quartz sandstone
150	Colluvium	322	Glacial clay (Tertiary and Quaternary)	455	Hard quartz sandstone
200	Calcareous rocks	323	Gravelly clay	456	Quartzite
209	Residuum from calcareous rocks	324	Boulder clay	457	Schistose sandstone
210	Limestone	330	Residual clay from calcareous rocks	459	Residuum from sandstone
211	Primary limestone (Carboniferous)	331	Clay-with-flints	500	Loamy materials
212	Secondary limestone	332	Siderolith formations	510	Residual loam
213	Tertiary limestone	333	Calcareous decalcification clay	511	Old loam (Touyas)
214	Ferruginous limestone	340	Claystone, mudstone	512	Stony loam
215	Hard limestone	350	Calcareous clay	513	Clay loam
216	Soft limestone	400	Sandy materials	514	Sandy loam
217	Marly limestone	410	Old sandy sedimentary deposits	520	Eolian loam
218	Chalky limestone	411	Secondary sands	521	Loess
219	Detrital limestone	412	Tertiary sands	522	Thin loess cover
220	Secondary chalk	413	Flint sands	523	Sandy loess
230	Marl	414	Pleistocene sands	530	Siltstone
231	Secondary marl	419	Residuum from old sandy sedimentary deposits	539	Residuum from siltstone
232	Tertiary marl	420	Alluvial or glaciofluvial sands		
233	Gypseous marl	421	Glacial sands		
234	Schistose marl	422	Sandy gravelly materials		
240	Gypsum	429	Residuum from alluvial or glaciofluvial sands		
250	Dolomite	430	Eolian sands		

CÓDIGO DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	CÓDIGO DEL MATERIAL	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
600	Detrital formations	800	Volcanic rocks
610	Arkose	809	Residuum from volcanic rocks
620	Breccia and Puddingstone	810	Acid volcanic rocks
630	Flysch and Molasse	819	Residuum from acid volcanic rocks
640	Ranas	820	Basic volcanic rocks
700	Crystalline rocks and migmatites	821	Phonolites
709	Residuum from crystalline rocks and migmatites	822	Basalt
710	Acid crystalline rocks (and migmatites)	823	Andesite
711	Granite	824	Rhyolite
712	Diorite, Quartzodiorite	825	Volcanic tuff
719	Residuum from acid crystalline rocks	830	Volcanic slag
720	Non acid crystalline rocks (and migmatites)	900	Other rocks
721	Syenite	901	Sedimentary rocks
722	Gabbro	902	Sedimentary, metamorphic and eruptive rocks
723	Serpentine	910	Organic materials
730	Crystalline metamorphic rocks		
731	Gneiss		
732	Embrechites		
739	Residuum from crystalline metamorphic rocks		
740	Schists		
741	Micaschists		
742	Slates		
743	Shales		
744	Calcschists		
745	Green schists		
749	Residuum from schists		
750	Other metamorphic rocks		

Las tablas de la roca madre (MAT1) se han elaborado a partir de la leyenda de códigos extraída del mapa de suelos SGDBE v.3. (EC, 1995).

ANEXO VI. MAPA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A CADA SMU DEL MAPA SGDBE V.3



ANEXO VII. TABLA DE CODSUELOS ATRIBUIDOS A LOS PERFILES DE SUELOS DE LA BASE DE DATOS

CODSUELO	NOMBRE DEL SUELO SEGÚN LA LEYENDA FAO-UNESCO DE 1974 [n=NÚMERO DE PERFILES]	SMU
1	FLUVISOL EUTRICO_1 [n=16]	340580 3510370
3	LITOSOL EUTRICO_3 [n=3]	340198
5	LITOSOL CALCICO_5 [n=8]	330114 340201 340230
6	LITOSOL DISTRICO_6 [n=3]	340202 340596
7	ARENOSOL CAMBICO_7 [n=27]	340203 3510371
8	ARENOSOL LUVICO_8 [n=5]	340204
9	RANKER_9 [n=77]	340205 340595 3510375
12	VERTISOL PELLICO_12 [n=3]	340208 340209 3510376
14	VERTISOL CROMICO_14 [n=25]	340210 340211 3510377
15	SOLOCHAK GLEICO_15 [n=9]	340213 3510378
19	XEROSOL GIPSICO_19 [n=3]	340219 340220
21	CAMBISOL EUTRICO_21 [n=85]	340229 340586 3510379 3510381
22	CAMBISOL DISTRICO_22 [n=74]	3510383
23	CAMBISOL DISTRICO_23 [n=15]	330637 3510384
24	CAMBISOL HUMICO_24 [n=54]	340226 3510385 3510387
37	LUVISOL VERTICO_37 [n=5]	340251 3510400
38	LUVISOL ALBICO_38 [n=1]	3510403
39*	PODZOL FERRICO_39 [n=4]	340254
39*	PODZOL HUMICO_39 [n=11]	340254
39*	PODZOL FERRICO Y HUMICO_39 [n=15]	340254
40	PLANOSOL EUTRICO_40 [n=4]	3510406
42	HISTOSOL DISTRICO_42 [n=2]	340257
116	XEROSOL CALCICO_116 [n=2]	340214
117	XEROSOL CALCICO_117 [n=17]	340215 340216 340217
118	XEROSOL CALCICO_118 [n=4]	340218
124	CAMBISOL HUMICO_124 [n=65]	340225 340594 3510386
126	CAMBISOL CALCICO_126 [n=74]	340233 340238 340250
127	CAMBISOL CALCICO_127 [n=26]	340212 340227 340589 340590
128	CAMBISOL CALCICO_128 [n=85]	340231 340232 340234 340235 340236 340237 340239 340240 340593 3510389
129	CAMBISOL CALCICO_129 [n=15]	340241
132	LUVISOL ORTICO_132 [n=41]	340247
133	LUVISOL ORTICO_133 [n=75]	3510392 3510393 3510394 3510395 3510396
201	FLUVISOL CALCAREO_201 [n=57]	340196 340197 340581 340583
202	REGOSOL DISTRICO_202 [n=21]	340222 340587 340588 342212 342213
203	RENDZINA_203 [n=39]	340228
204	ACRISOL GLEICO_204 [n=14]	340256
205	SOLOCHAK ORTICO_205 [n=17]	340584
206	REGOSOL EUTRICO_206 [n=45]	340585 342211
207	REGOSOL CALCAREO_207 [n=99]	340592
208	CAMBISOL CROMICO_208 [n=30]	3510390
209	PODZOL ORTICO_209 [n=14]	3510404 3510405
238	LUVISOL GLEICO_238 [n=26]	340255
239	LUVISOL CROMICO_239 [n=22]	340591
240	LUVISOL CROMICO_240 [n=58]	340582
241	LUVISOL RHODO-CROMICO_241 [n=9]	340245
242	LUVISOL RHODO-CROMICO_242 [n=16]	340246
243	LUVISOL RHODO-CROMICO_243 [n=21]	3510397

CODSUELO	NOMBRE DEL SUELO SEGÚN LA LEYENDA FAO-UNESCO DE 1974 [n=NÚMERO DE PERFILES]	SMU
244	LUVISOL CROMO-CALCICO_244 [n=18]	340249
245	LUVISOL CROMO-CALCICO_245 [n=4]	340252
246	LUVISOL RHODO-CROMO-CALCICO_246 [n=38]	3510398

*El CODSUELO 39 se ha atribuido tanto a los perfiles de suelos clasificados como podzol férrico y como podzol húmico, pues en el mapa de suelos tan sólo existen polígonos que contengan un STU dominante clasificado como podzol ferro húmico.

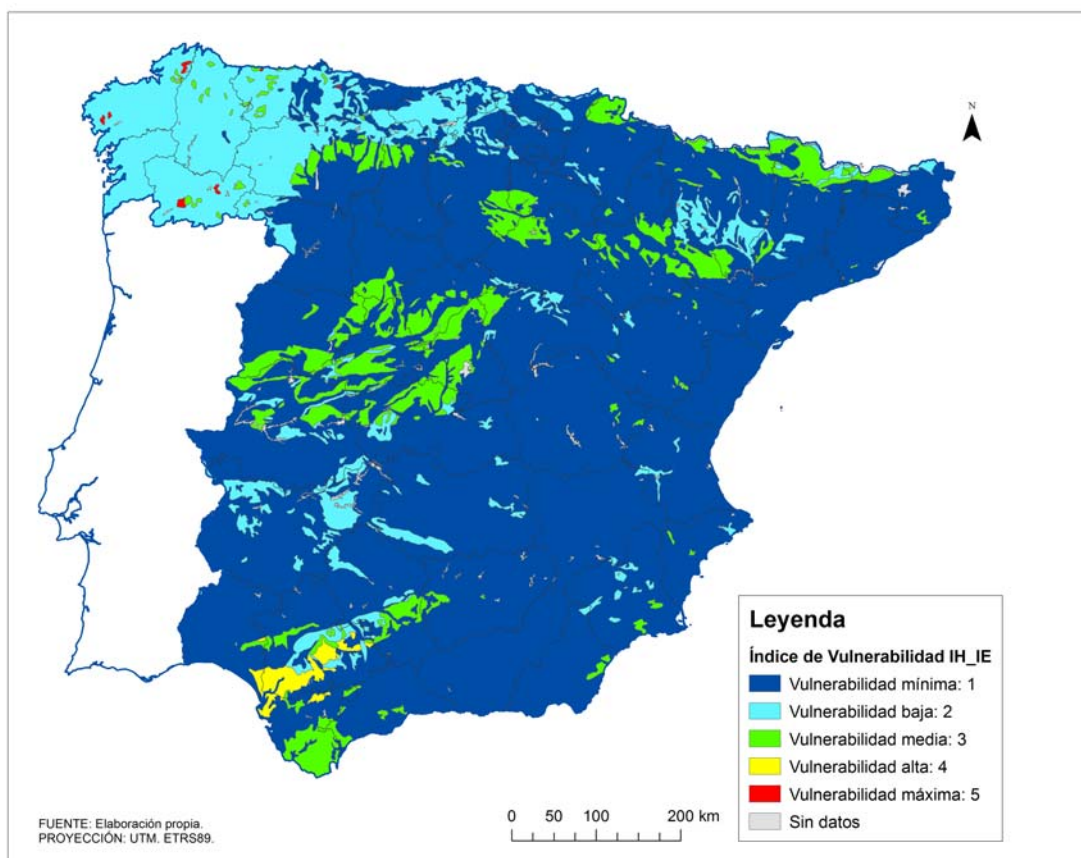
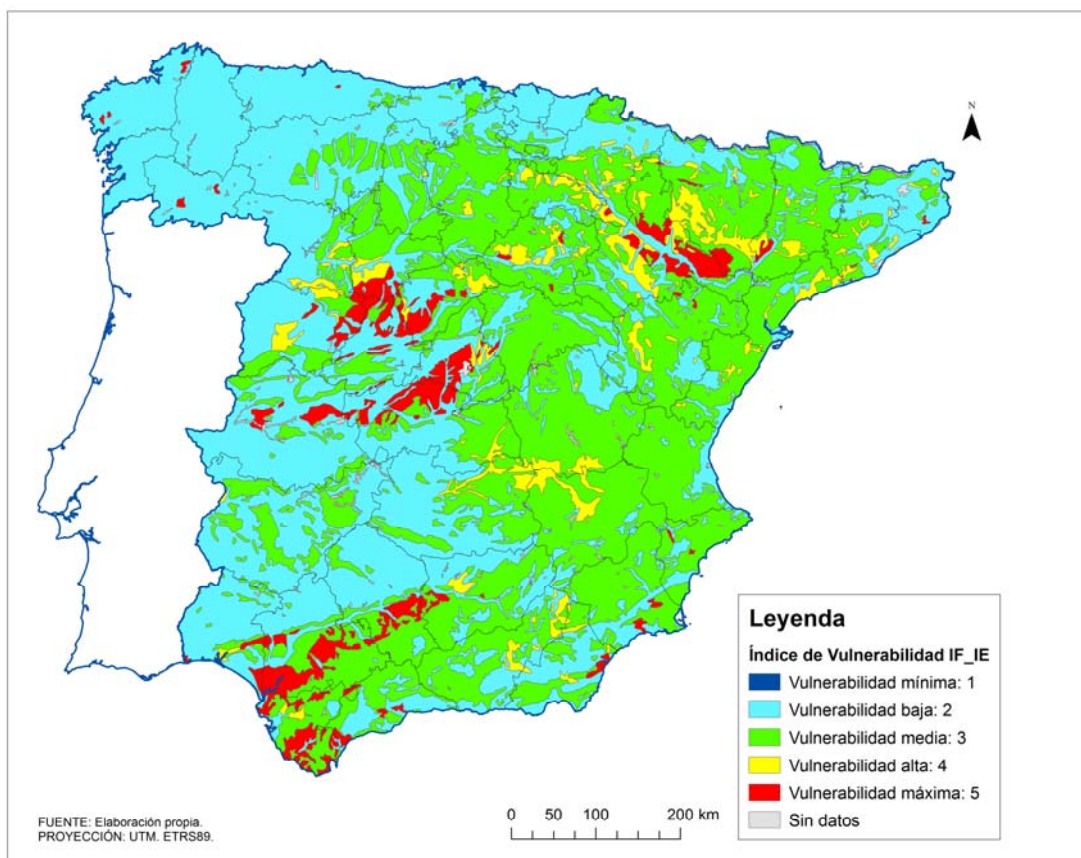
- Se han sombreado en azul los suelos que tienen un código de Portugal y en rosa los que tienen un código de Francia, para distinguirlos de los que están caracterizados en España.

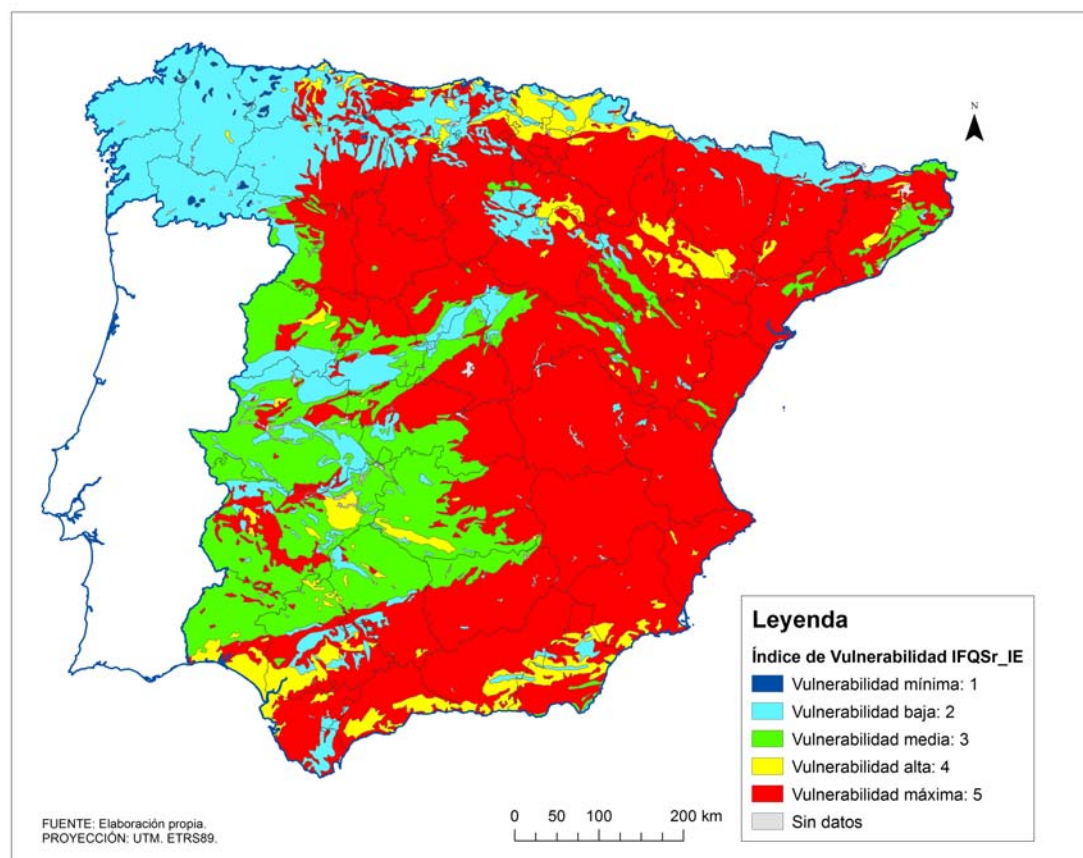
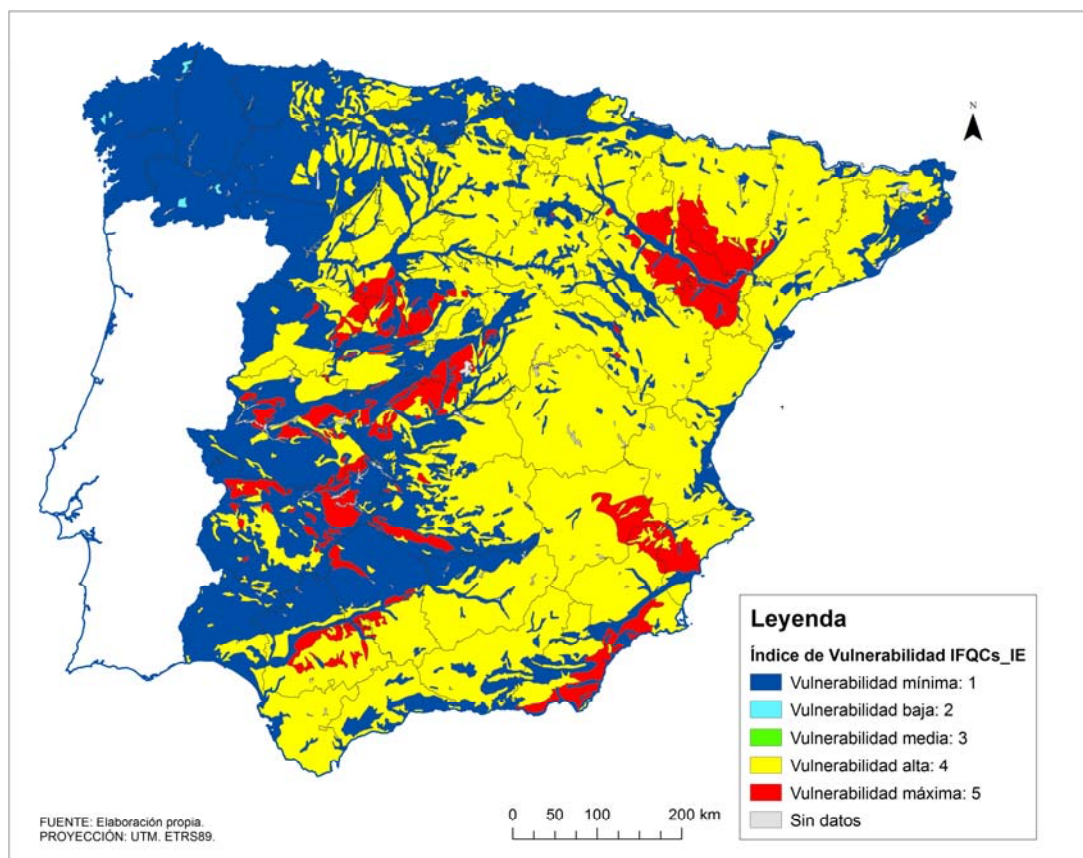
VII.a.- Códigos CODSUELO atribuidos a los perfiles que tienen representación en el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995) y correspondencia con el SMU del mapa de suelos.

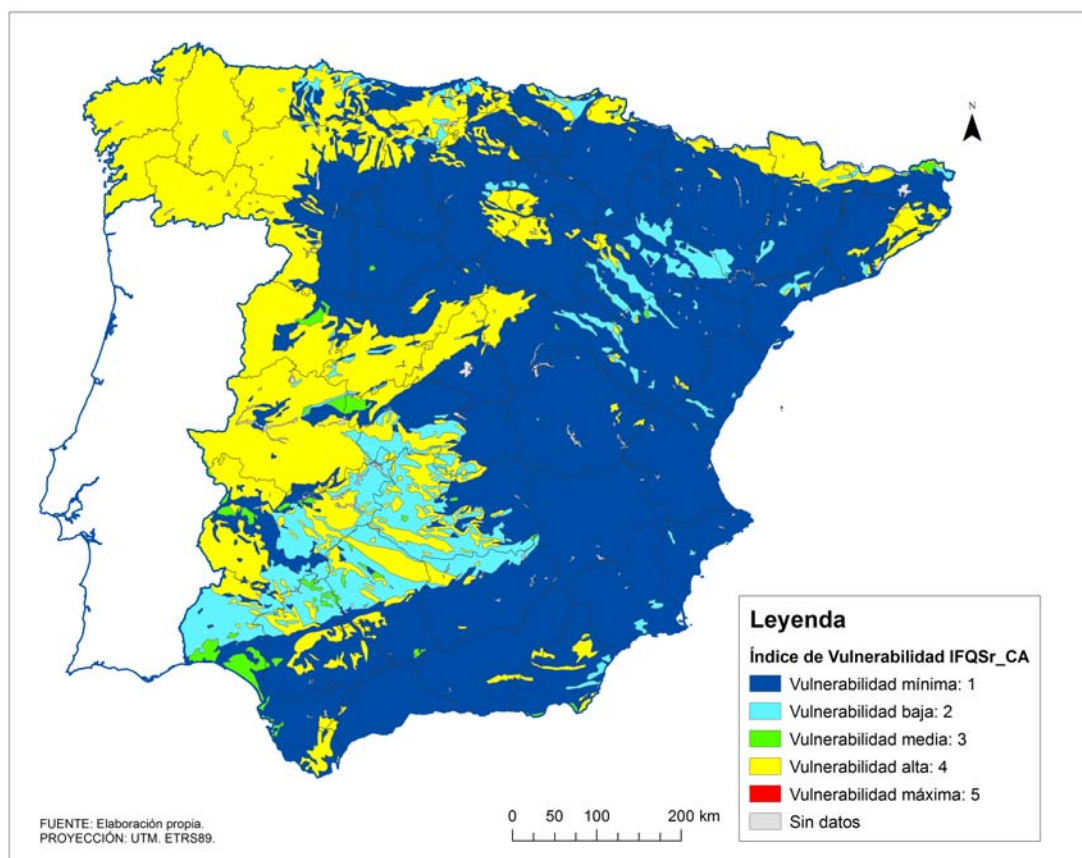
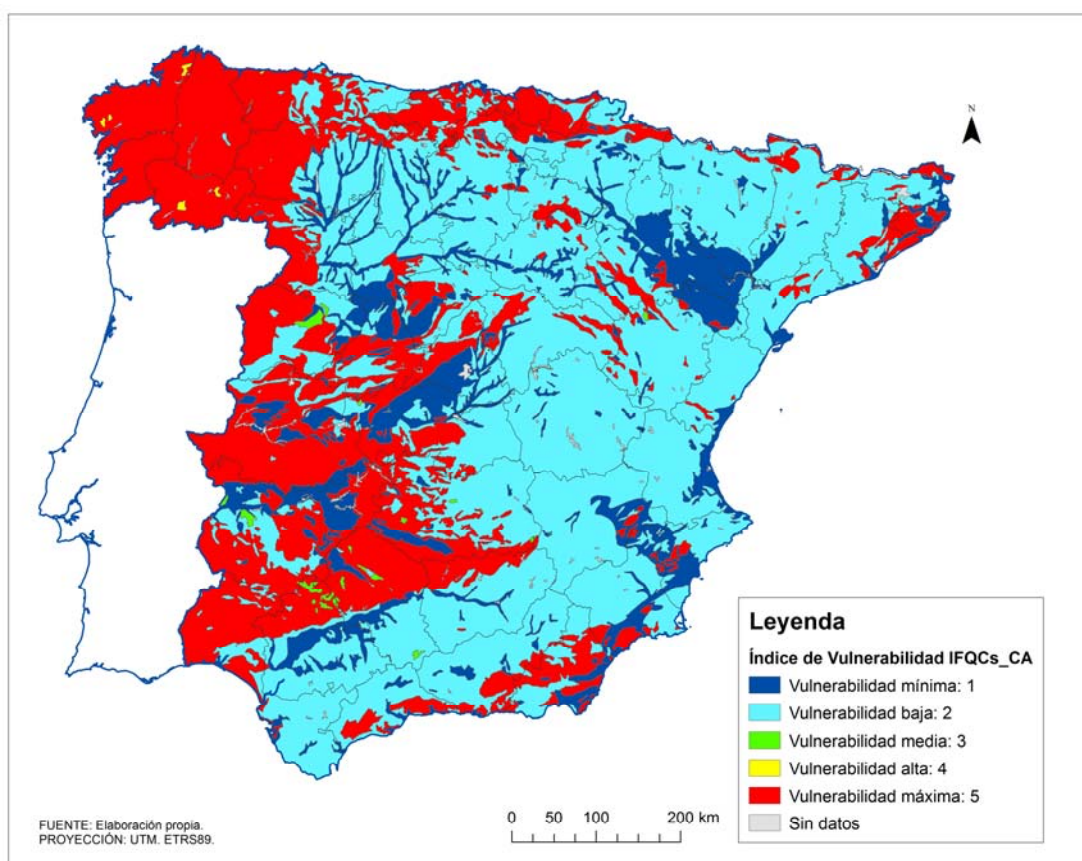
CODSUELO	NOMBRE DEL SUELO SEGÚN LA LEYENDA FAO-UNESCO DE 1974 [n=NÚMERO DE PERFILES ASIGNADOS]
25	CAMBISOL GLEICO_25 [n=31]
41	PLANOSOL DISTRICO_41 [n=1]
1001	ACRISOL HUMICO_1001 [n=44]
1002	ACRISOL ORTICO_1002 [n=38]
1003	ANDOSOL HUMICO_1003 [n=3]
1004	ANDOSOL MOLLIICO_1004 [n=1]
1005	ARENOSOL ALBICO_1005 [n=5]
1006	CAMBISOL VERTICO_1006 [n=8]
1007	CHERNOZEM HAPLICO_1007 [n=3]
1008	FLUVISOL DISTRICO_1008 [n=12]
1009	FLUVISOL TIONICO_1009 [n=2]
1010	GLEYSOL CALCAREO_1010 [n=4]
1011	GLEYSOL DISTRICO_1011 [n=4]
1012	GLEYSOL EUTRICO_1012 [n=7]
1013	GLEYSOL HUMICO_1013 [n=14]
1014	GLEYSOL MOLLIICO_1014 [n=3]
1015	KASTANOZEM CALCICO_1015 [n=15]
1016	KASTANOZEM HAPLICO_1016 [n=7]
1017	KASTANOZEM LUVICO_1017 [n=4]
1018	PHAEZEM CALCAREO_1018 [n=15]
1019	PHAEZEM GLEICO_1019 [n=2]
1020	PHAEZEM HAPLICO_1020 [n=19]
1021	PHAEZEM LUVICO_1021 [n=5]
1022	PLANOSOL MOLLIICO_1022 [n=1]
1023	PODZOL GLEICO_1023 [n=2]
1024	PODZOL LEPTICO_1024 [n=1]
1025	PODZOL PLACICO_1025 [n=1]
1026	PODZOLUVISOL DISTRICO_1026 [n=1]
1027	SOLOCHAK MOLLIICO_1027 [n=1]
1028	SOLONETZ GLEICO_1028 [n=1]
1029	SOLONETZ ORTICO_1029 [n=9]
1030	XEROSOL HAPLICO_1030 [n=2]
1031	XEROSOL LUVICO_1031 [n=1]
1032	YERMOSOL CALCICO_1032 [n=2]
1033	YERMOSOL HAPLICO_1033 [n=1]
1034	YERMOSOL LUVICO_1034 [n=1]

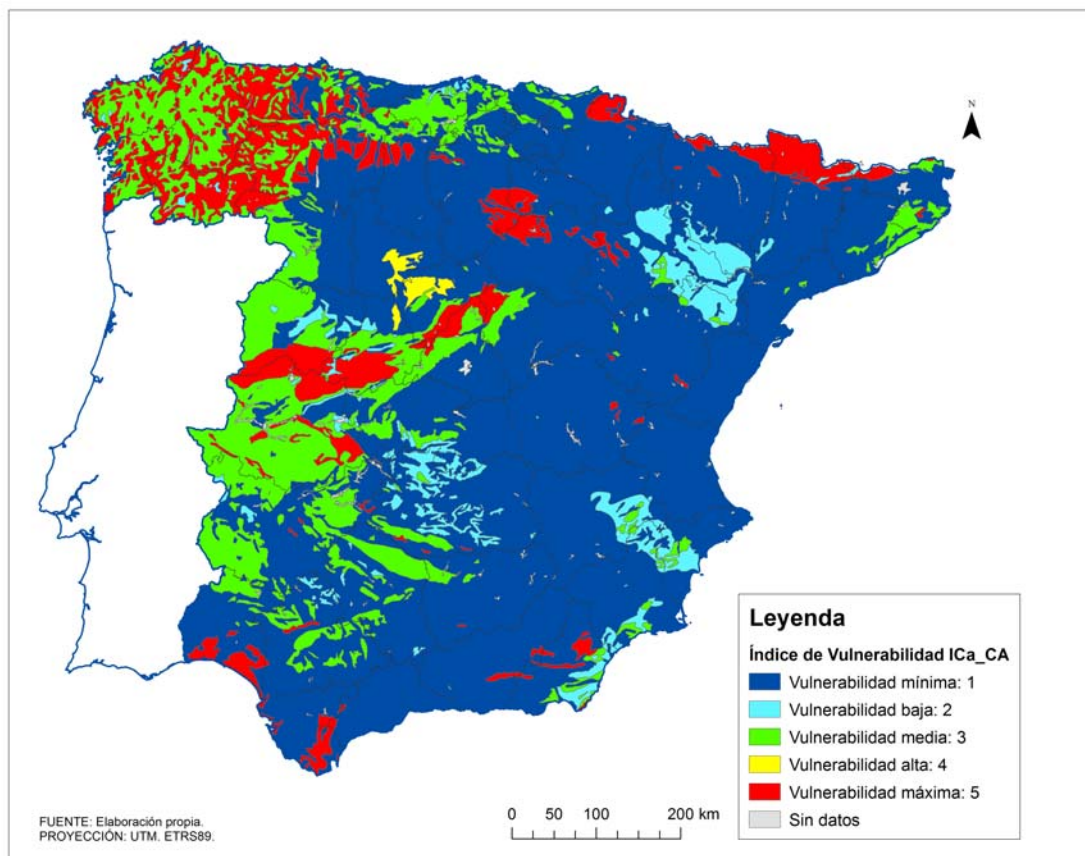
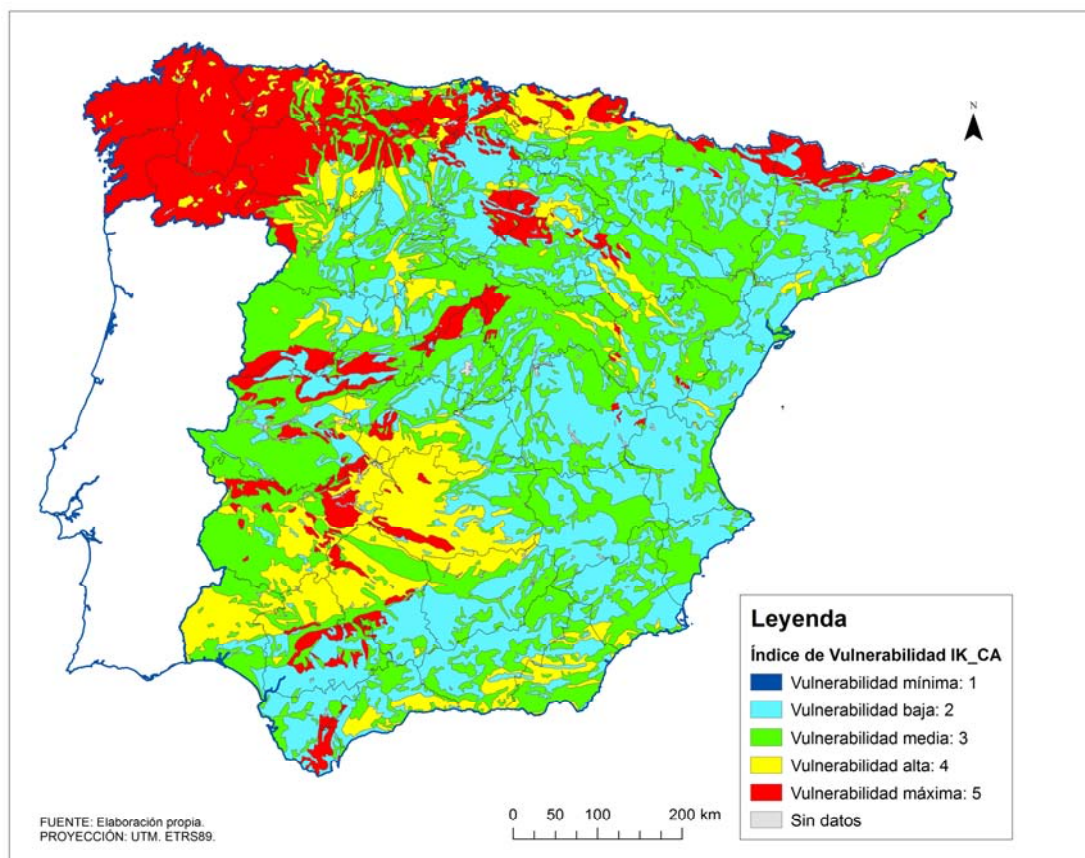
VII.b.- Códigos CODSUELO atribuidos a los perfiles que no tienen representación en el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995).

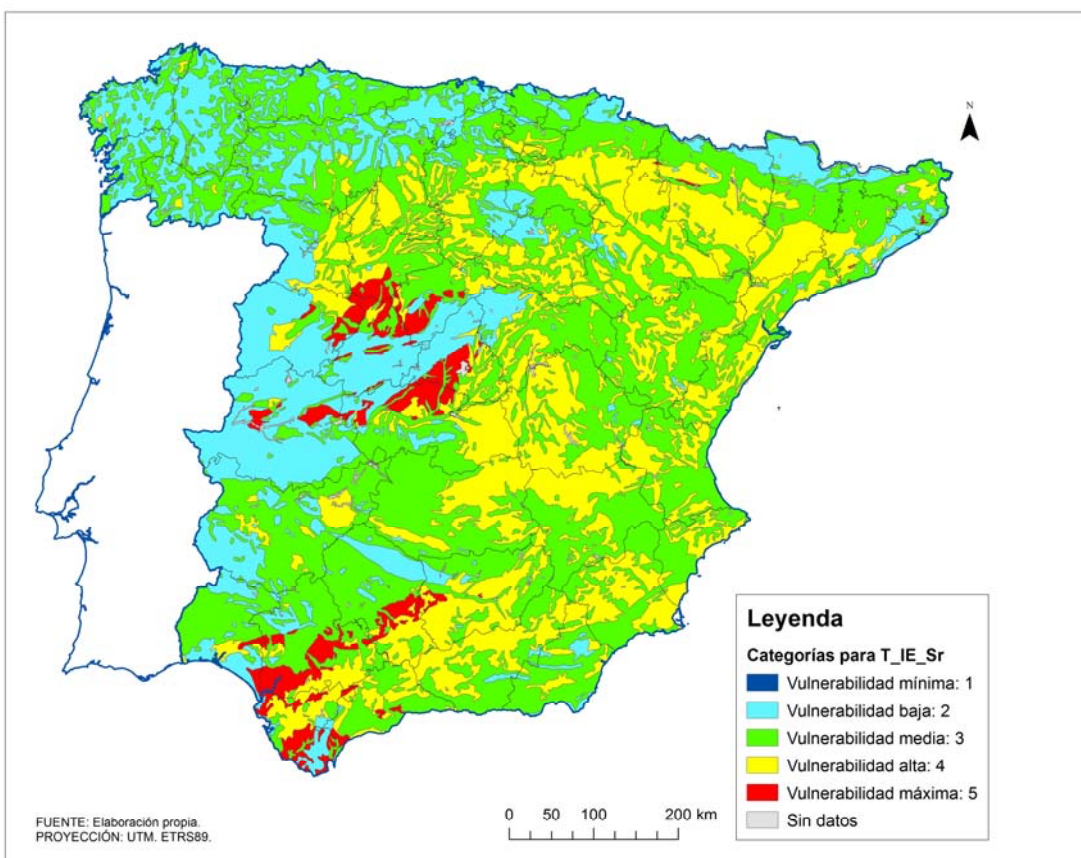
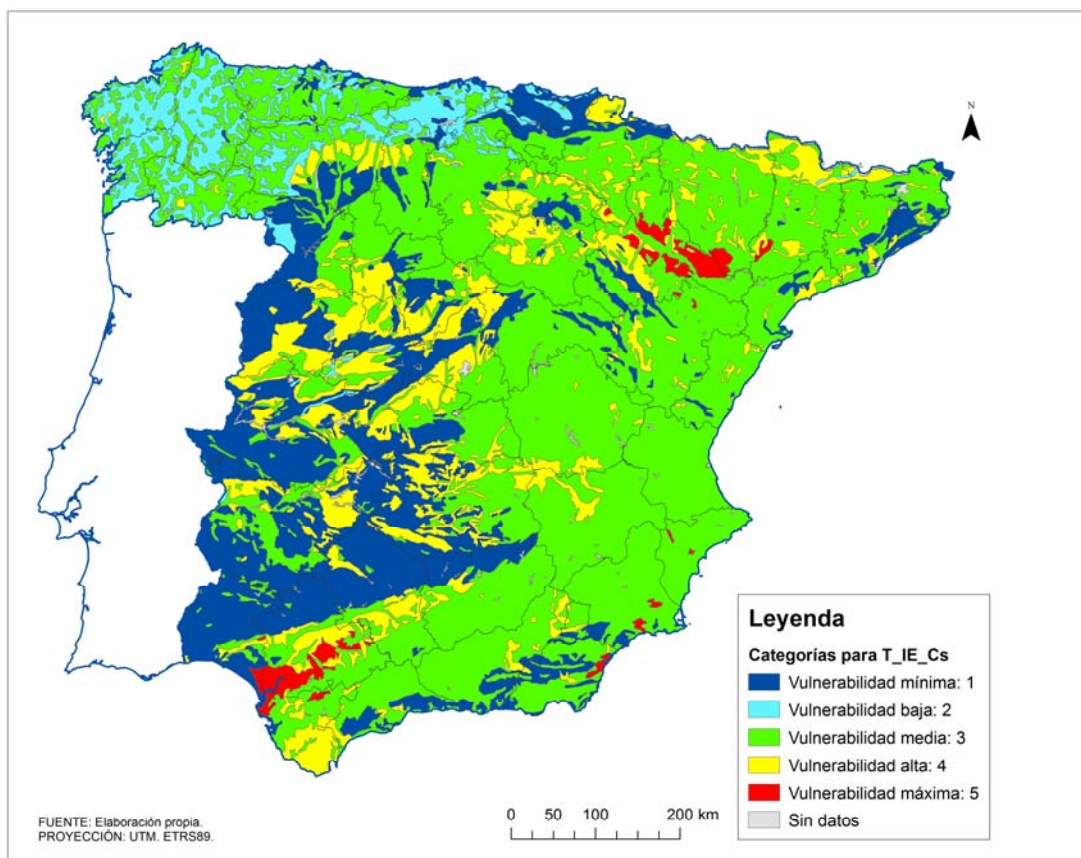
ANEXO VIII. MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES. EDICIÓN 2014

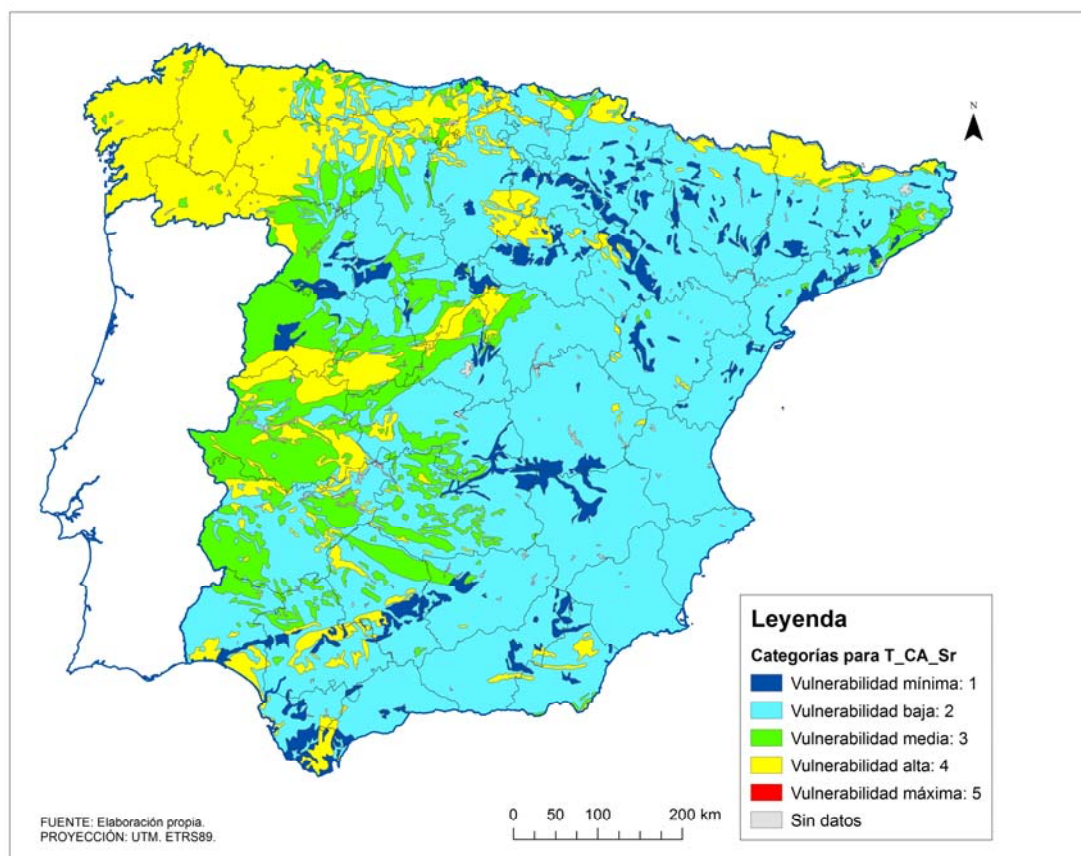
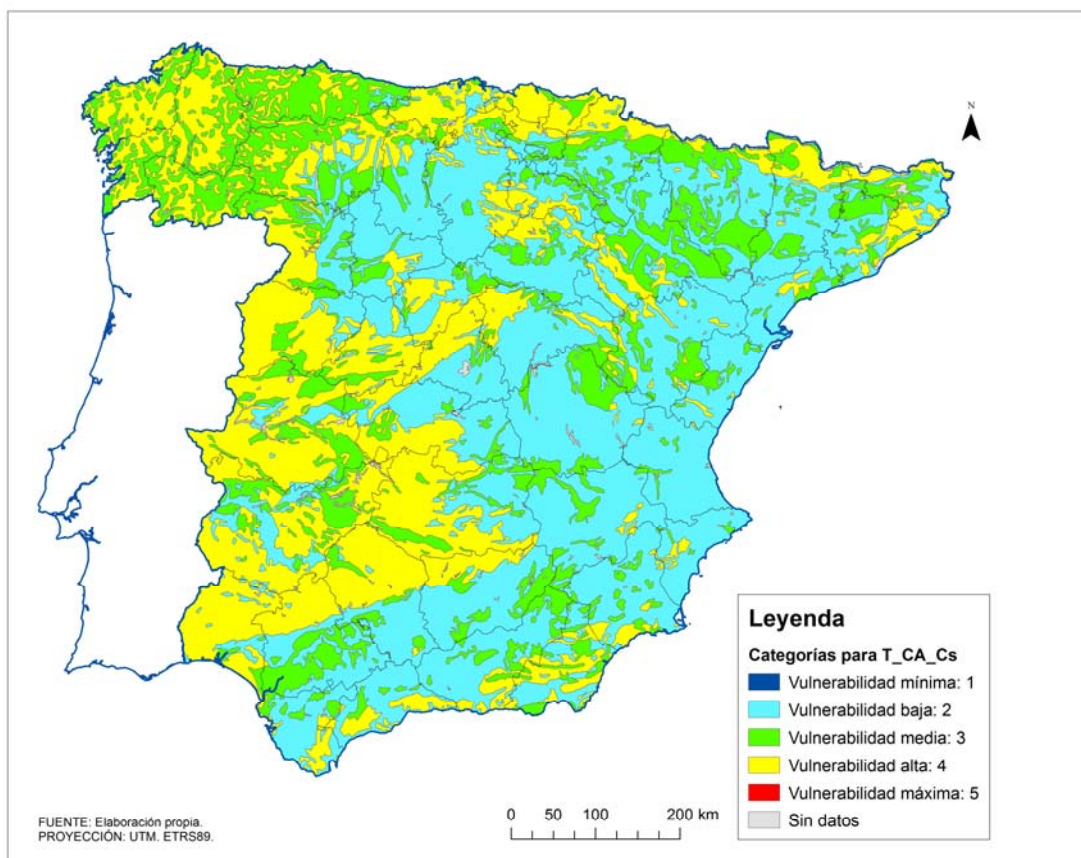




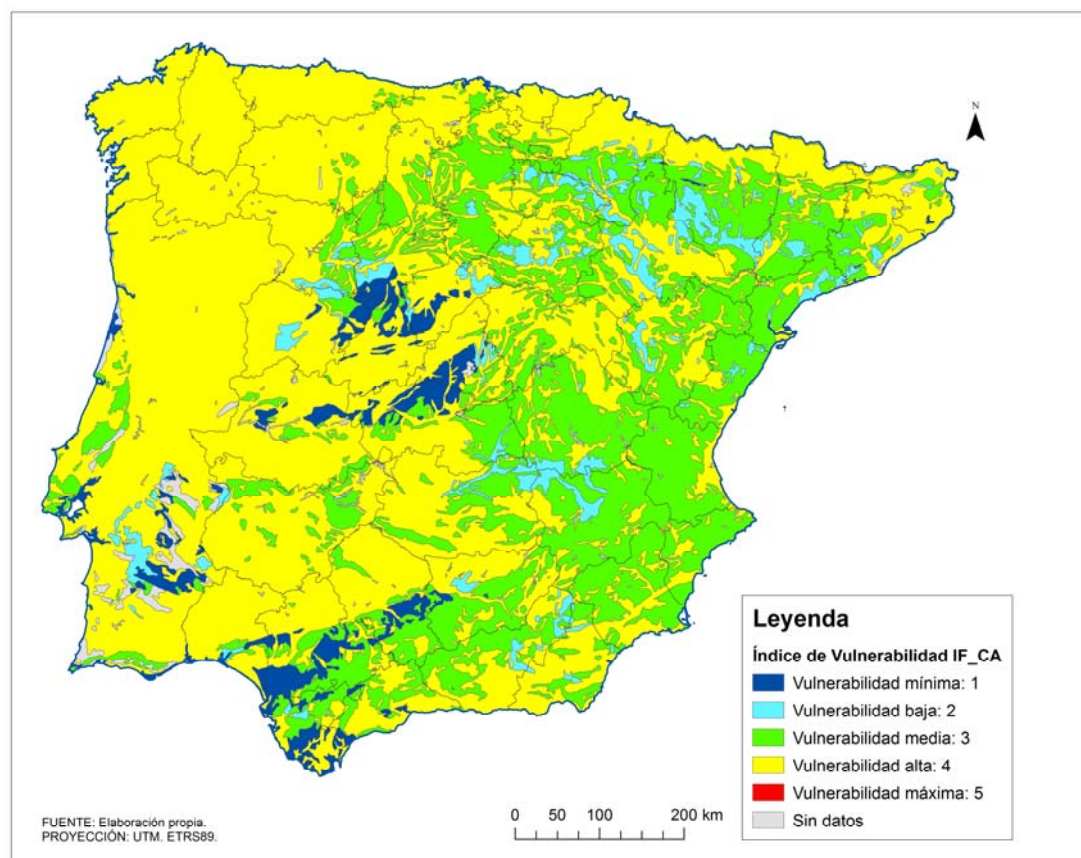
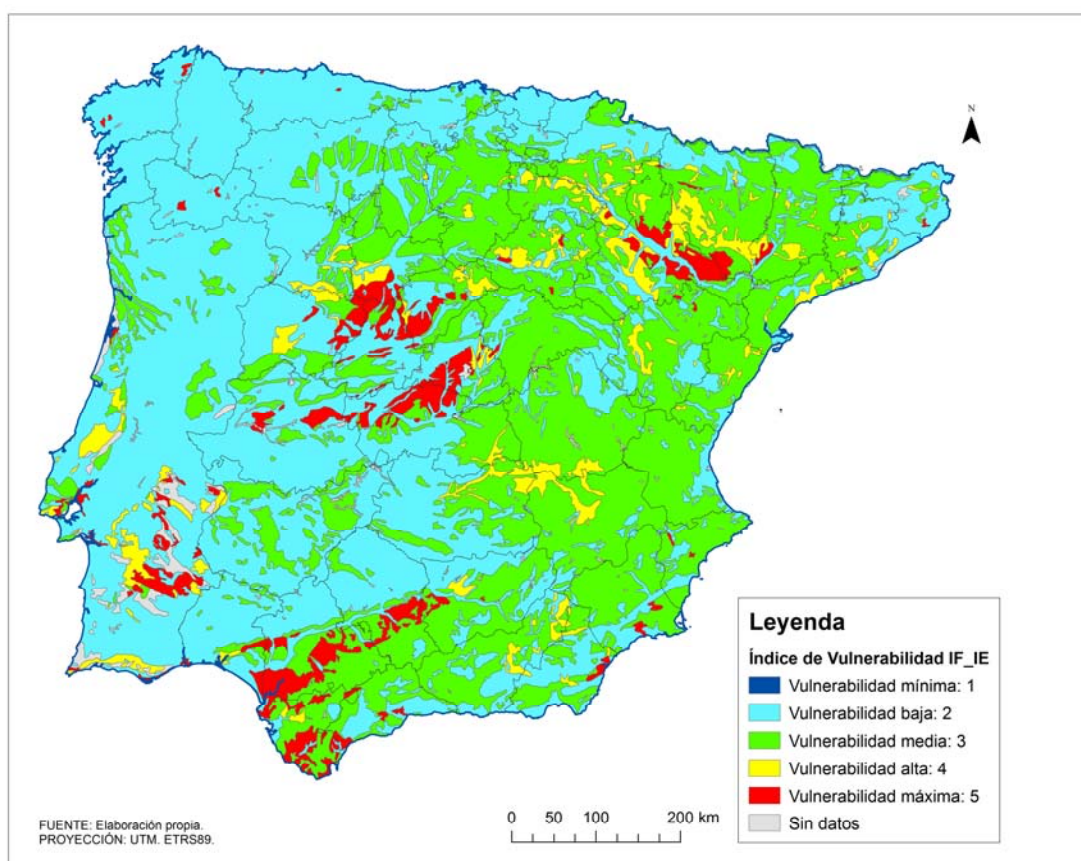


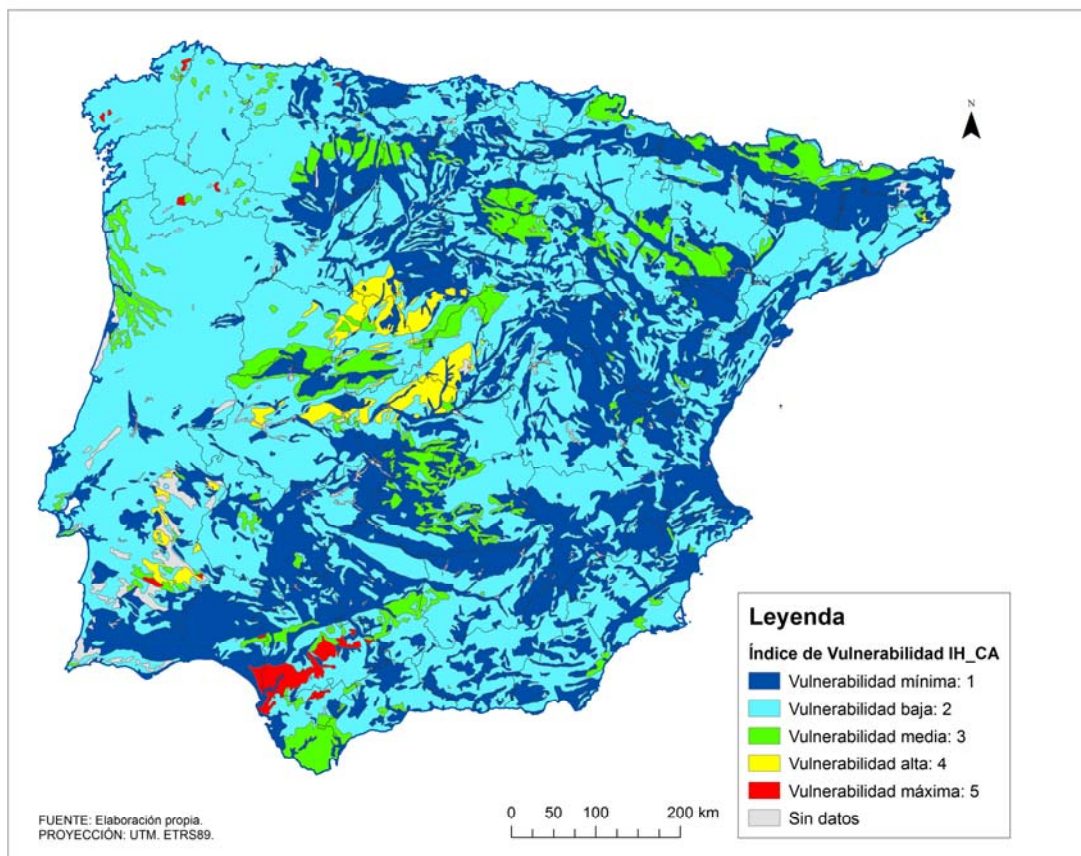
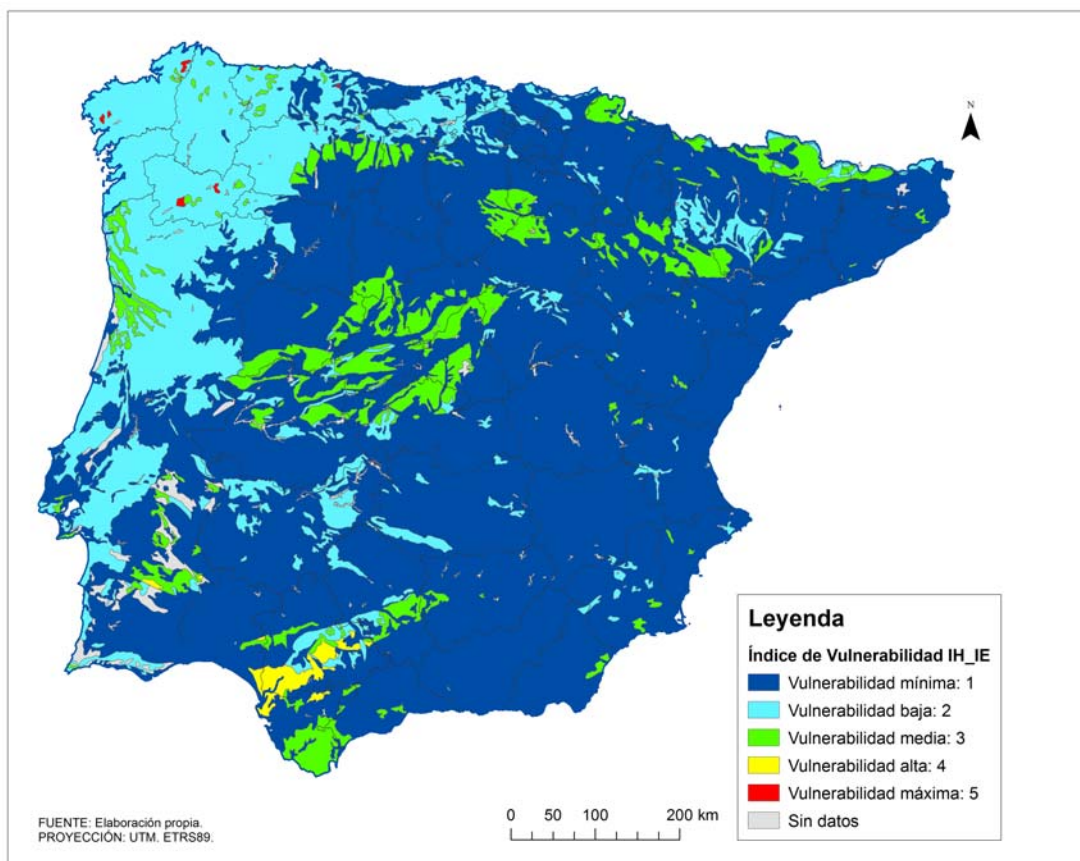


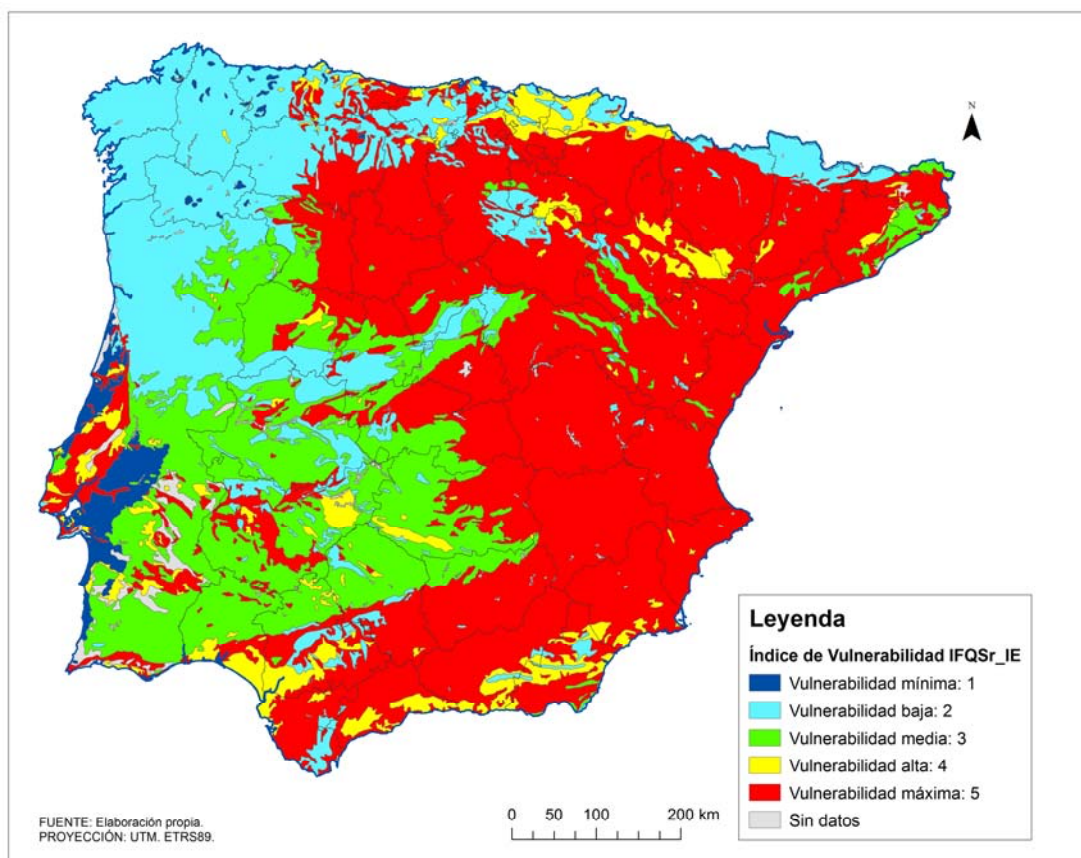
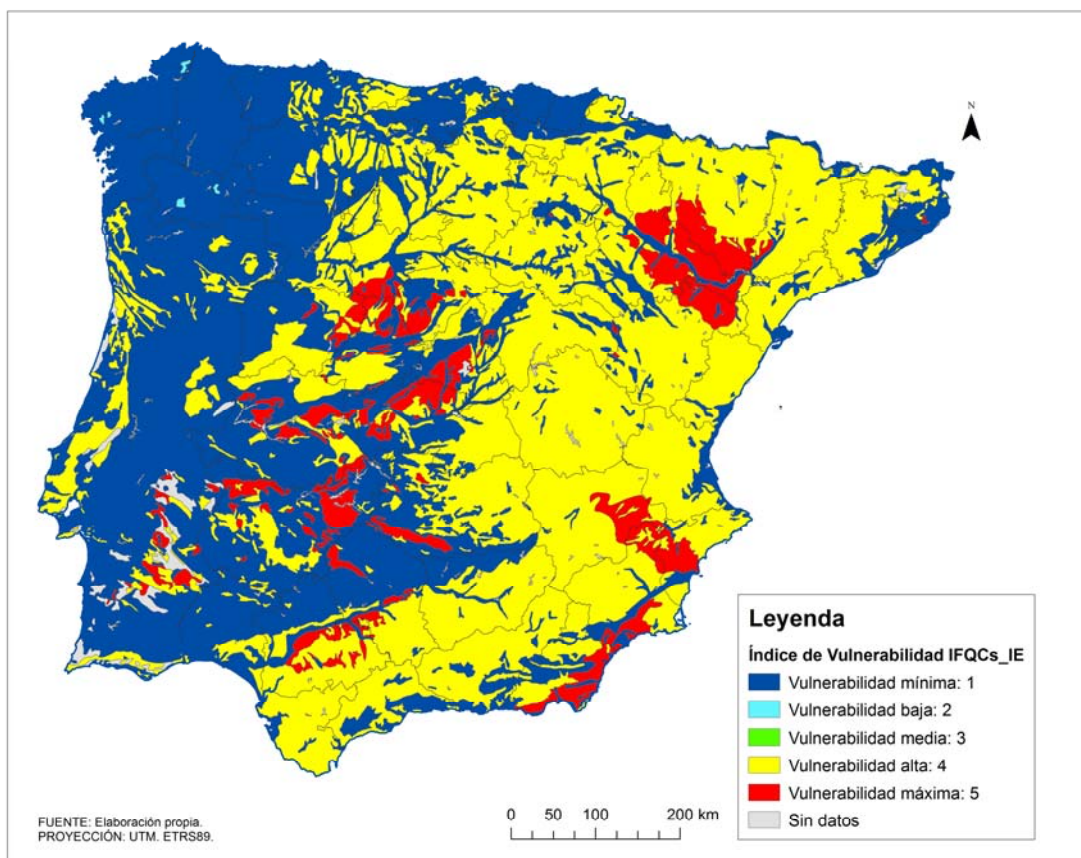


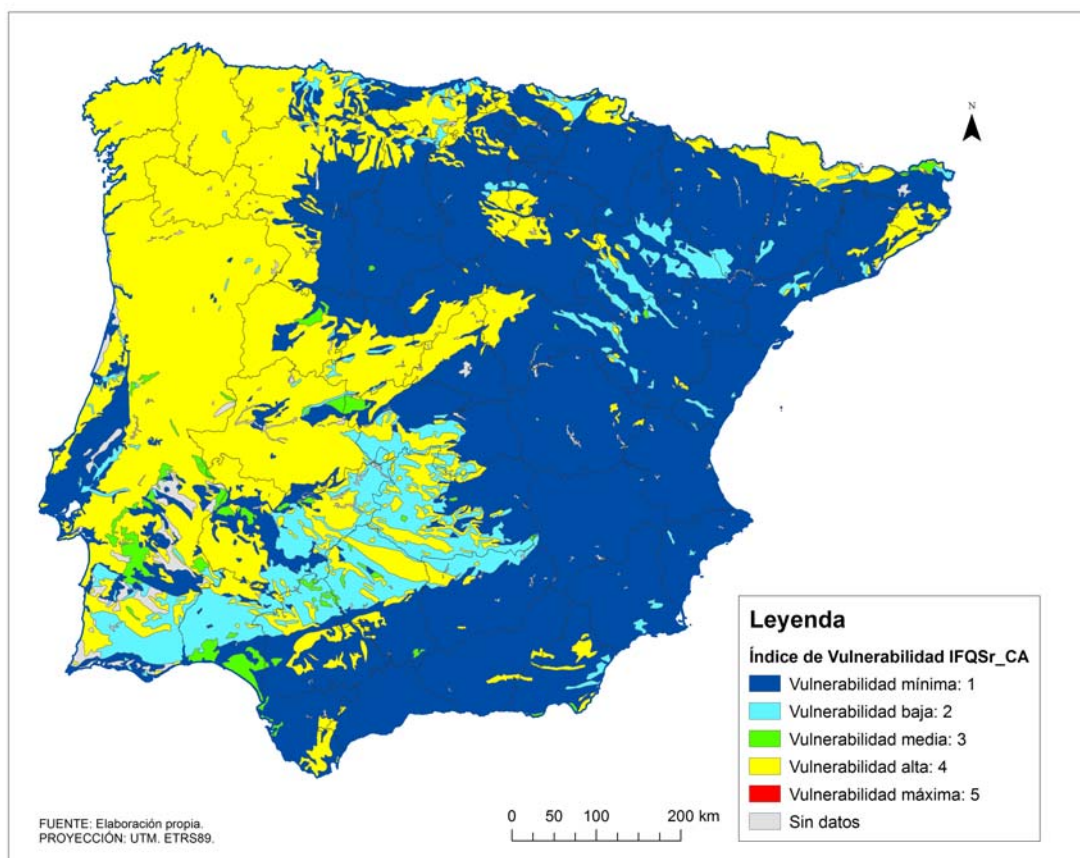
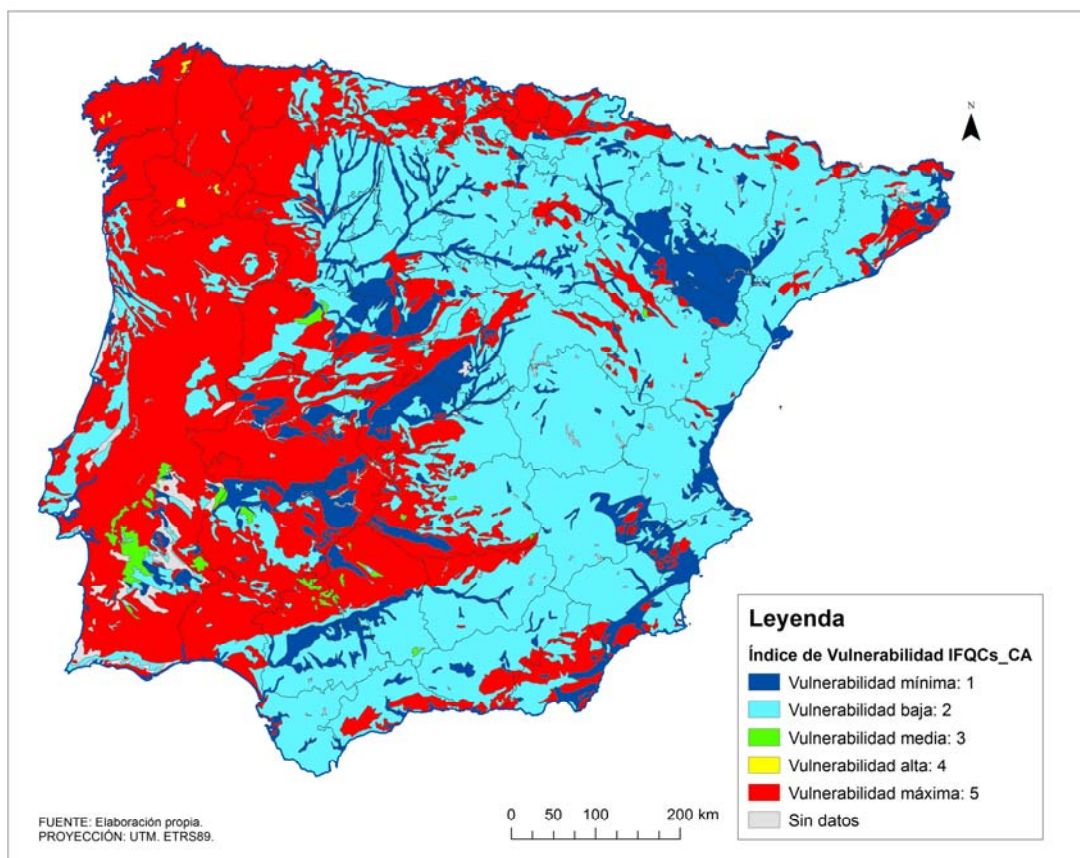


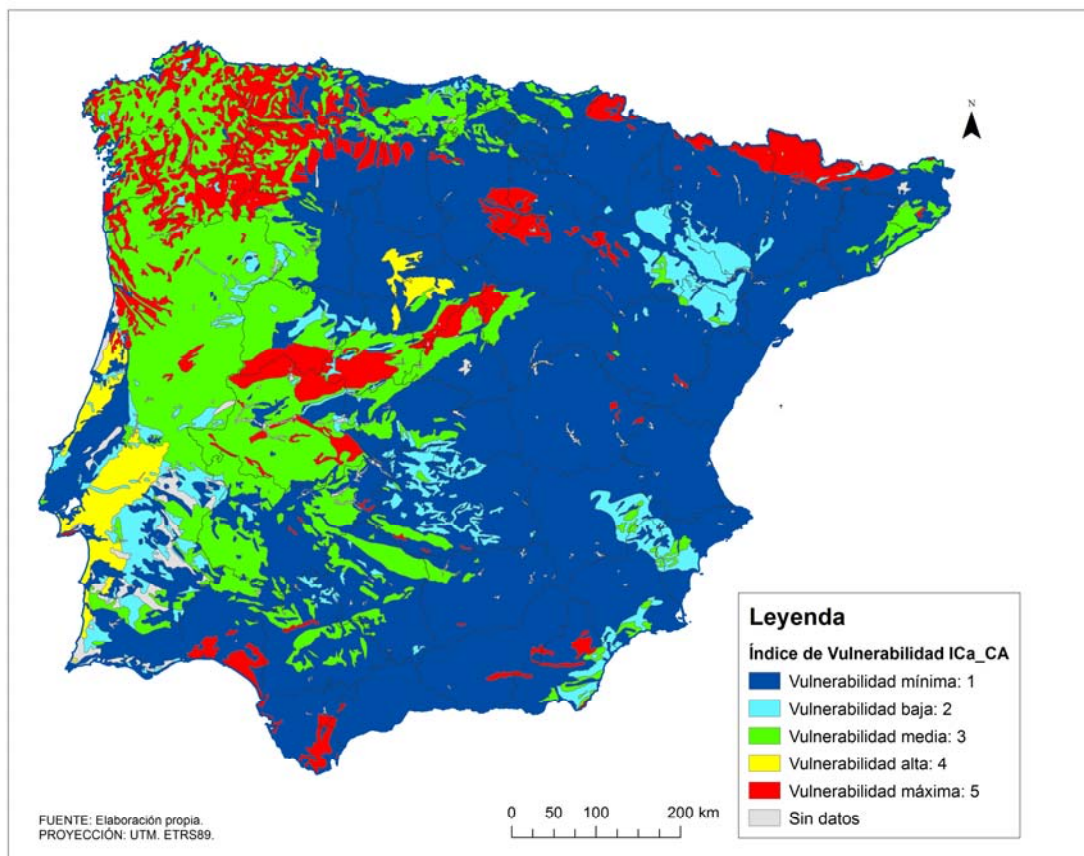
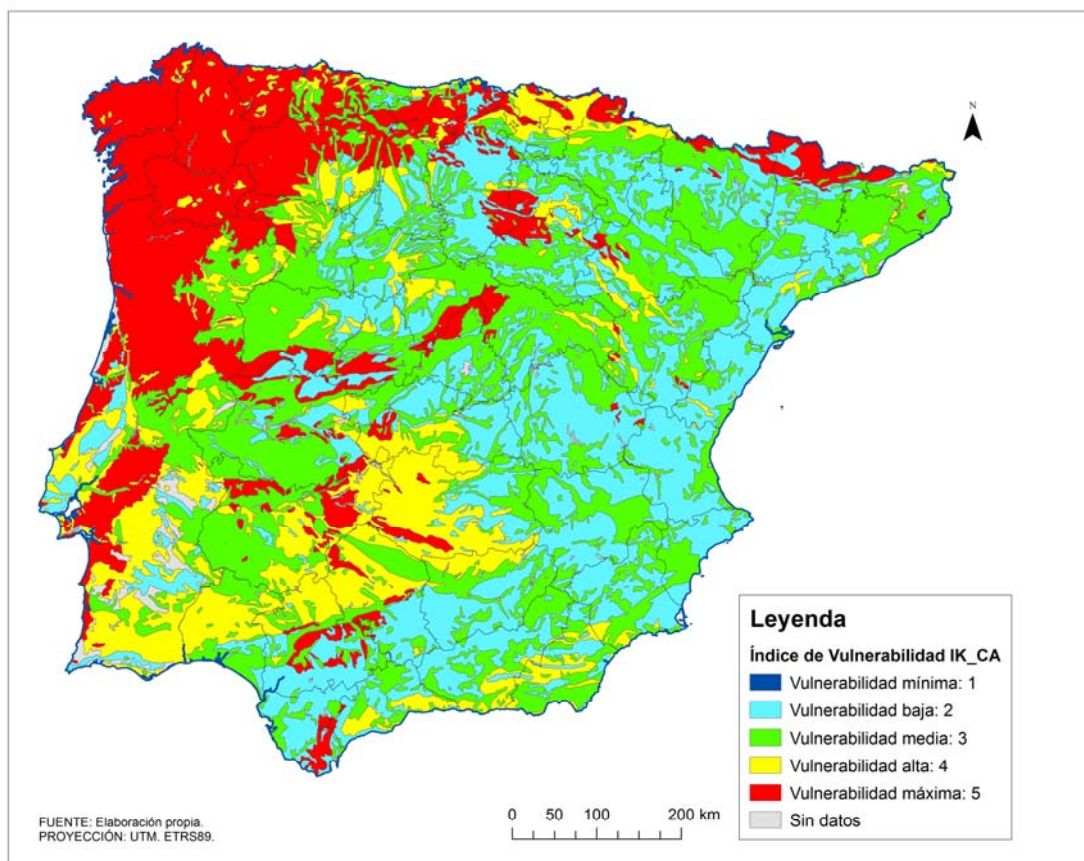
**ANEXO IX. MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS
SUELOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. EDICIÓN 2014.**

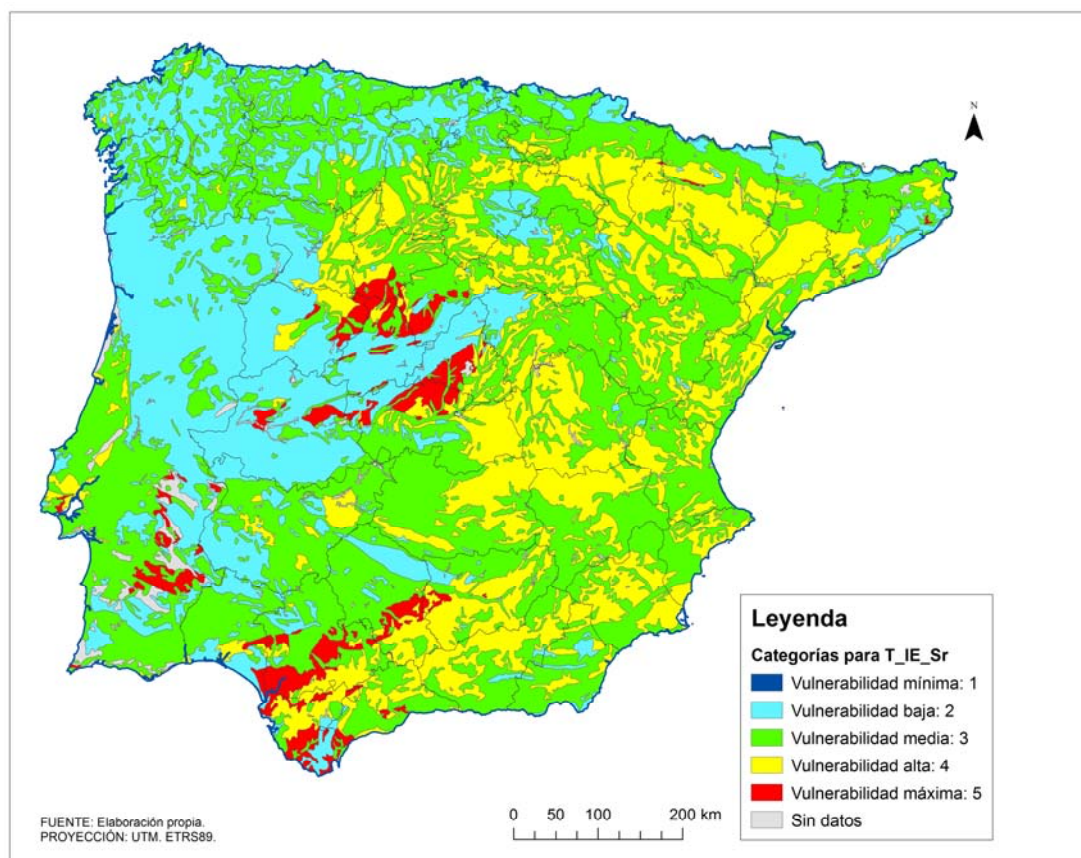
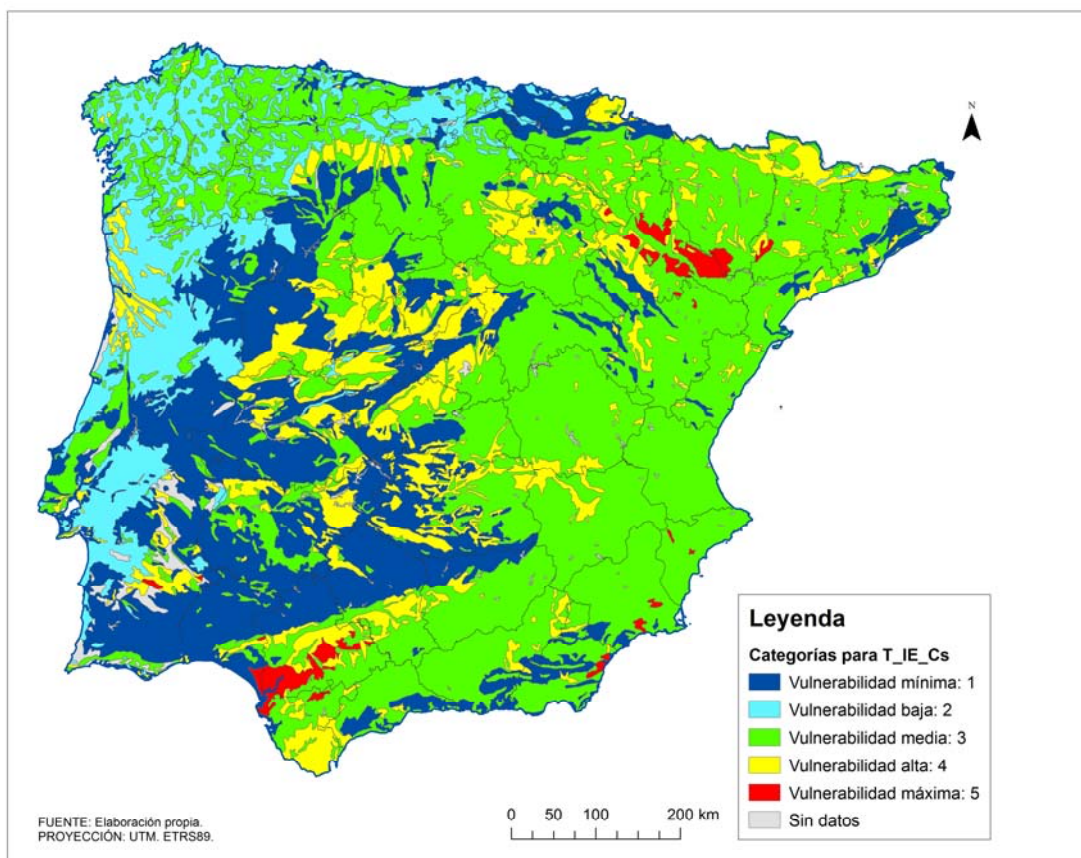


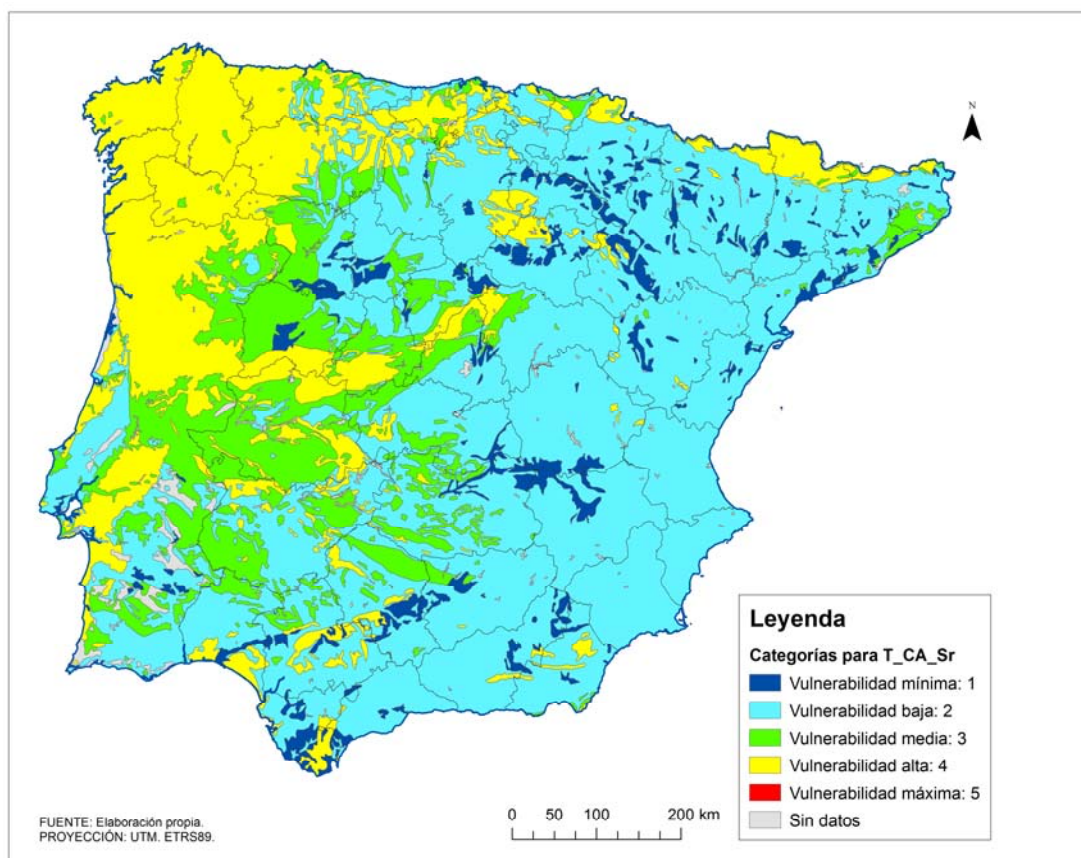
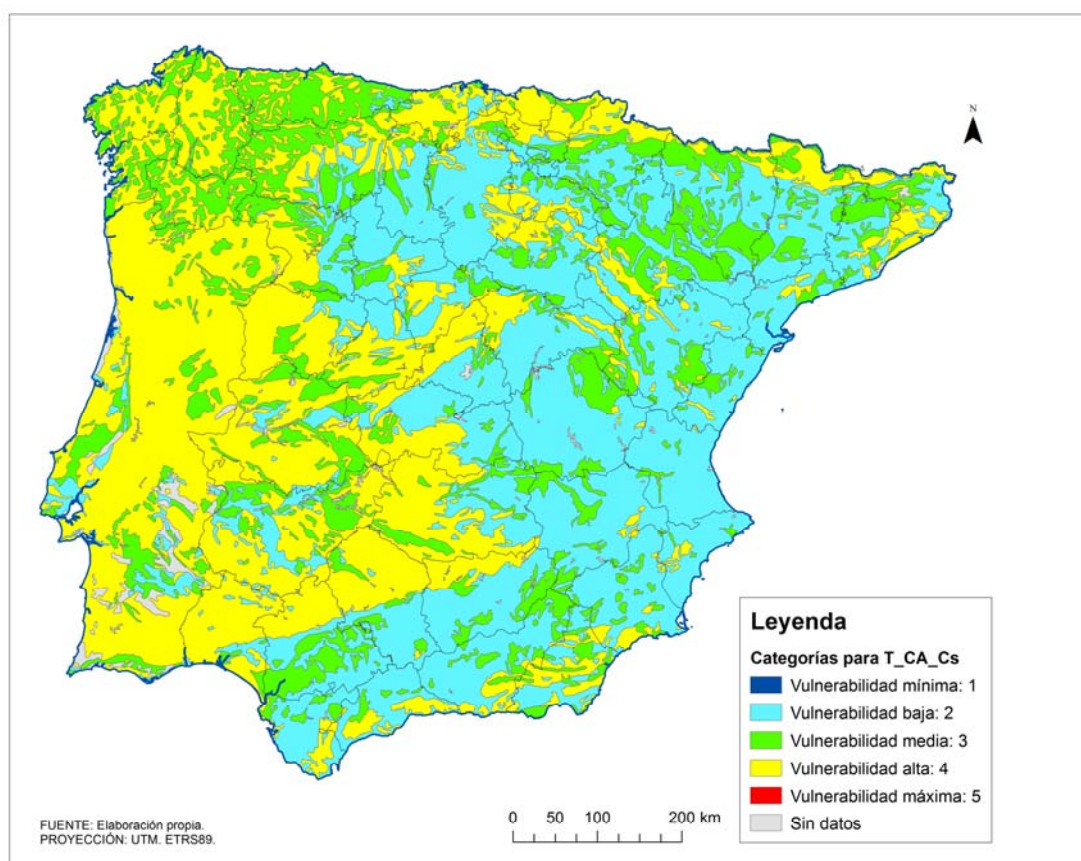






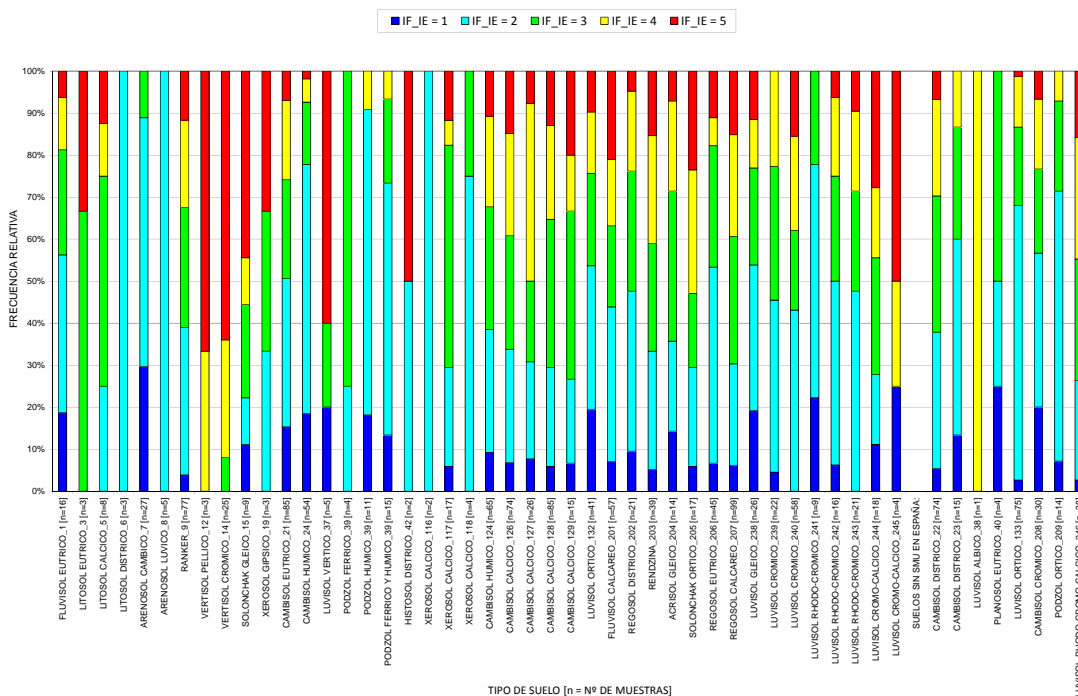




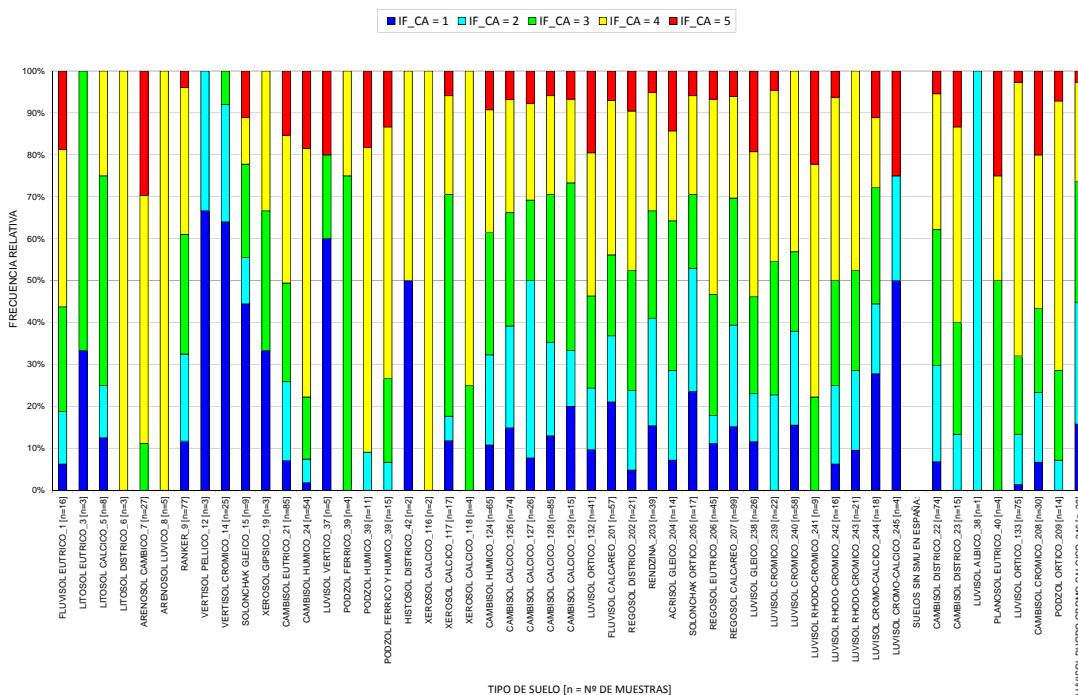


ANEXO X. GRÁFICAS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LOS VALORES DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD

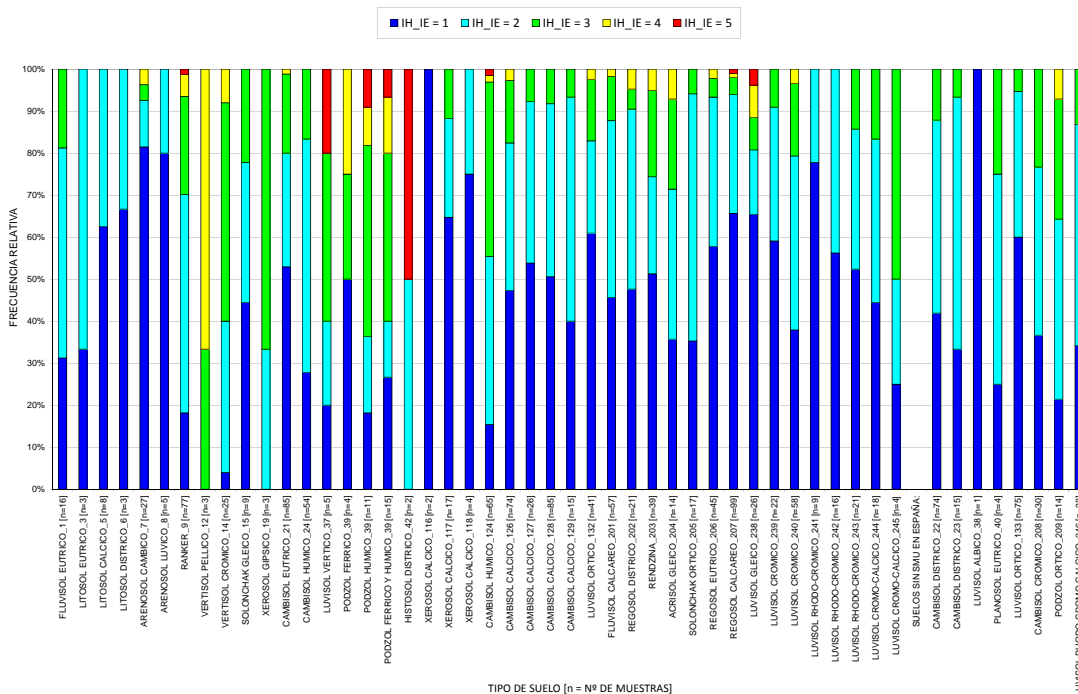
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN PARA LA IRRADIACIÓN EXTERNA (IF_IE)



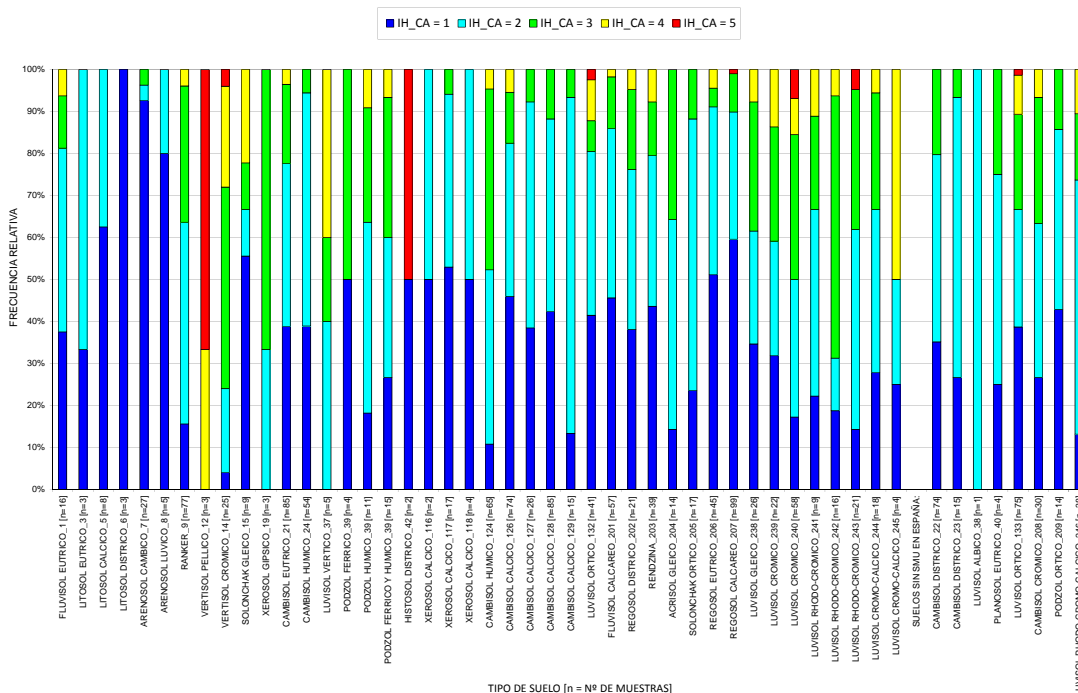
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN PARA LA CADENA ALIMENTARIA (IF_CA)



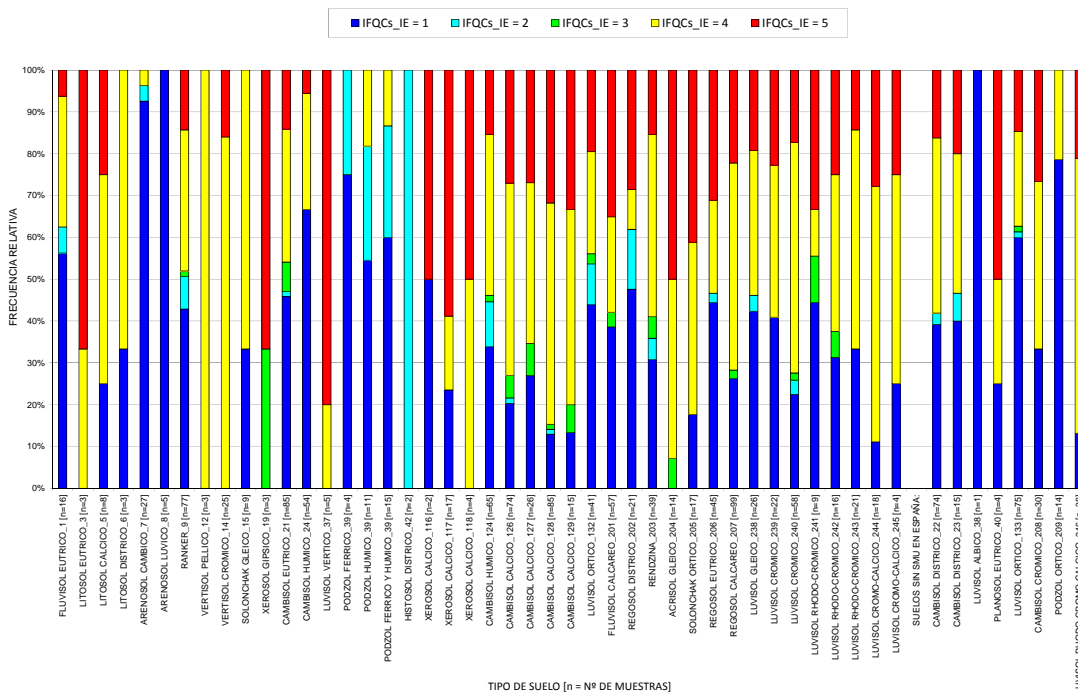
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA PARA LA IRRADIACIÓN EXTERNA (IH_IE)



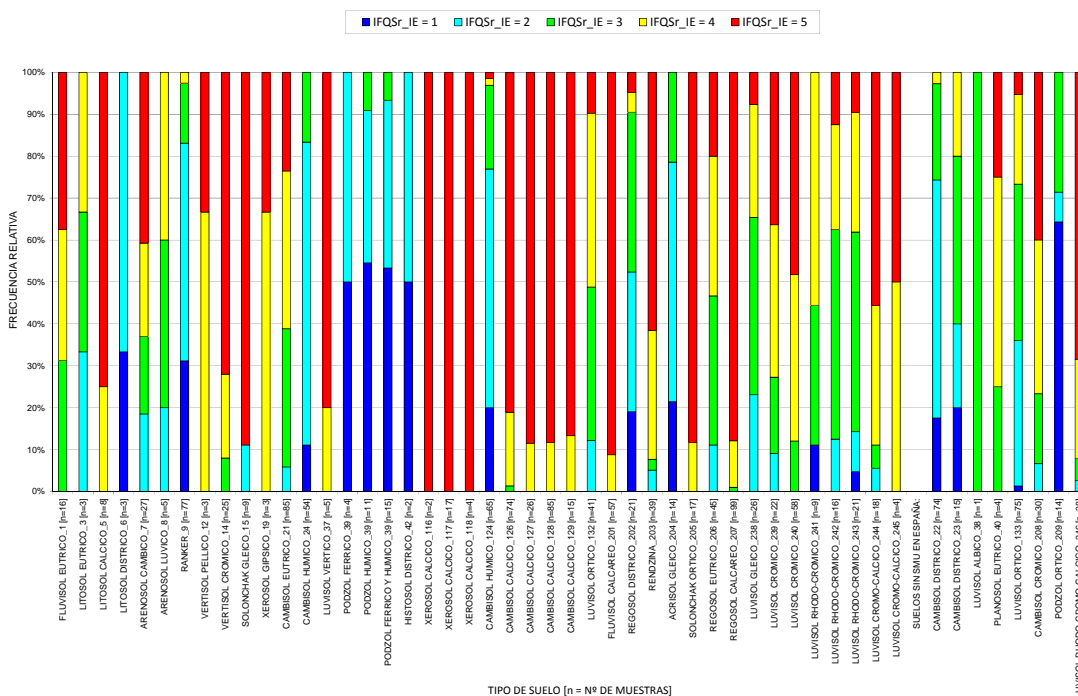
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA A LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA PARA CADENA ALIMENTARIA (IH_CA)



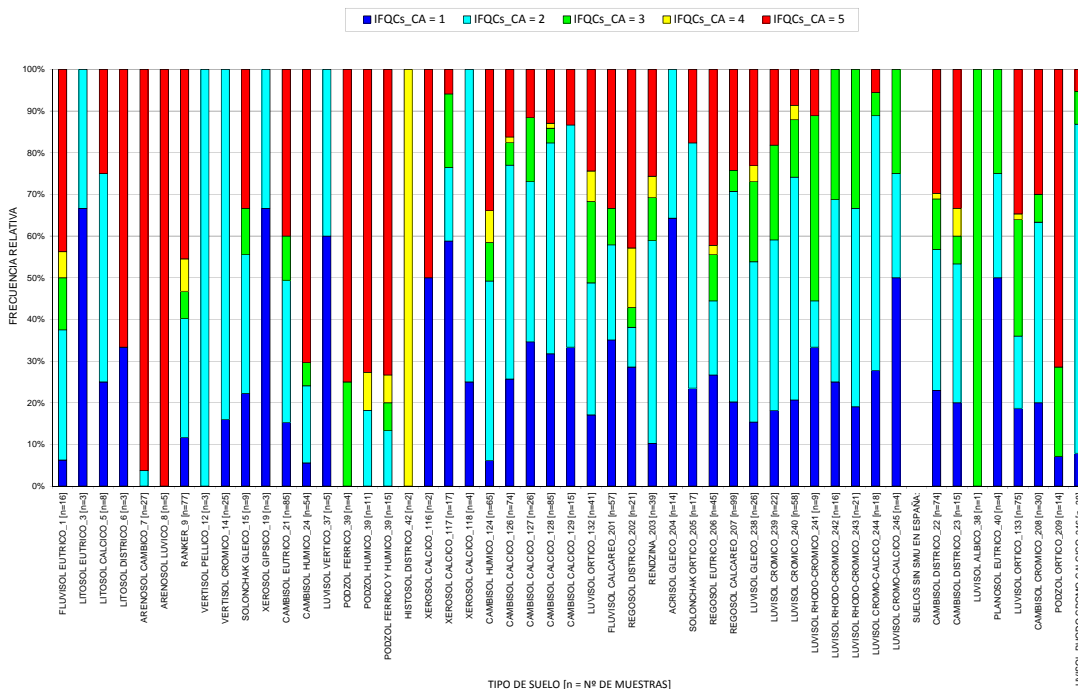
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ASOCIADA A RETENCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL Cs134/137 PARA LA IRRADIACIÓN EXTERNA (IFQCs_IE)



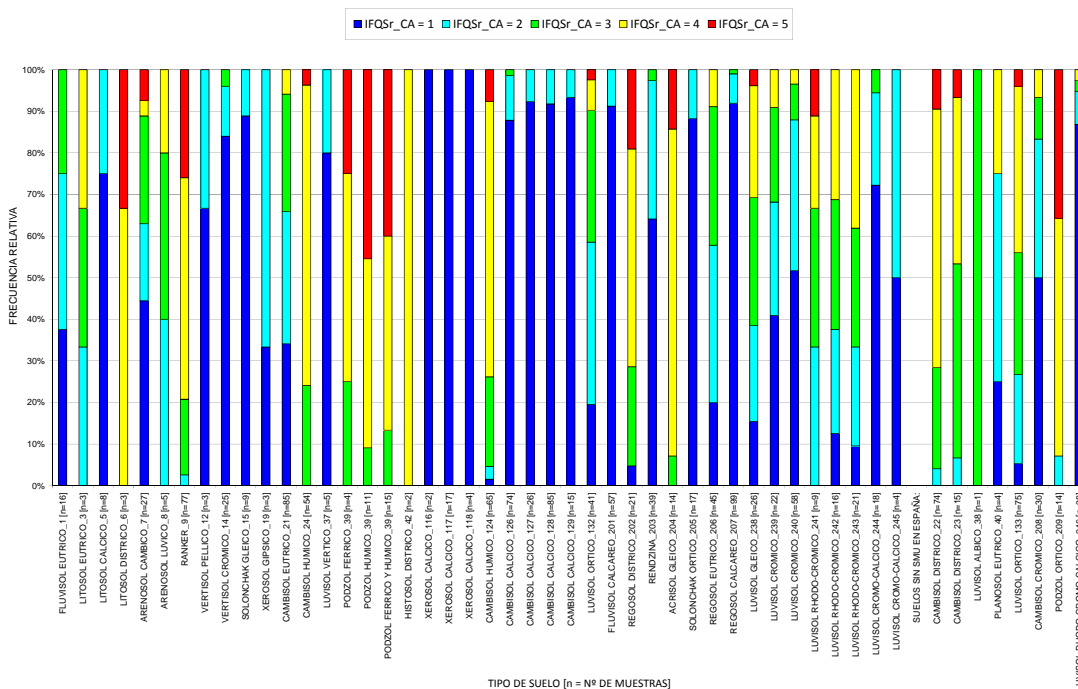
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ASOCIADA A RETENCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL Sr90 PARA IRRADIACIÓN EXTERNA (IFQsr_IE)



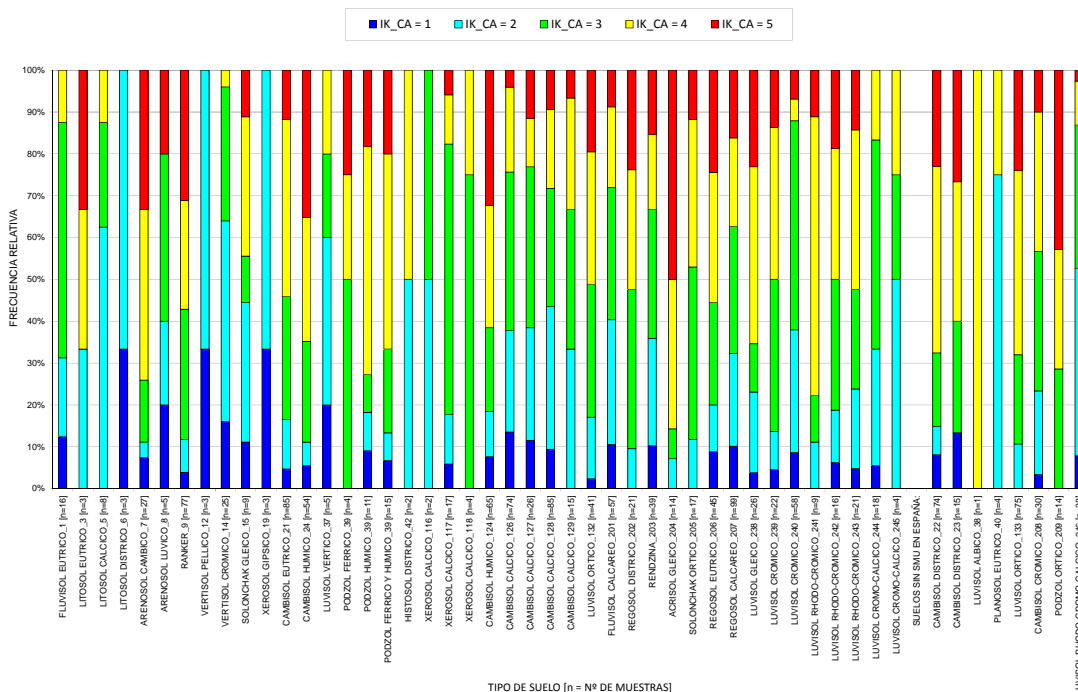
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA A RETENCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL Cs134/137 PARA CADENA ALIMENTARIA (IFQCs_CA)



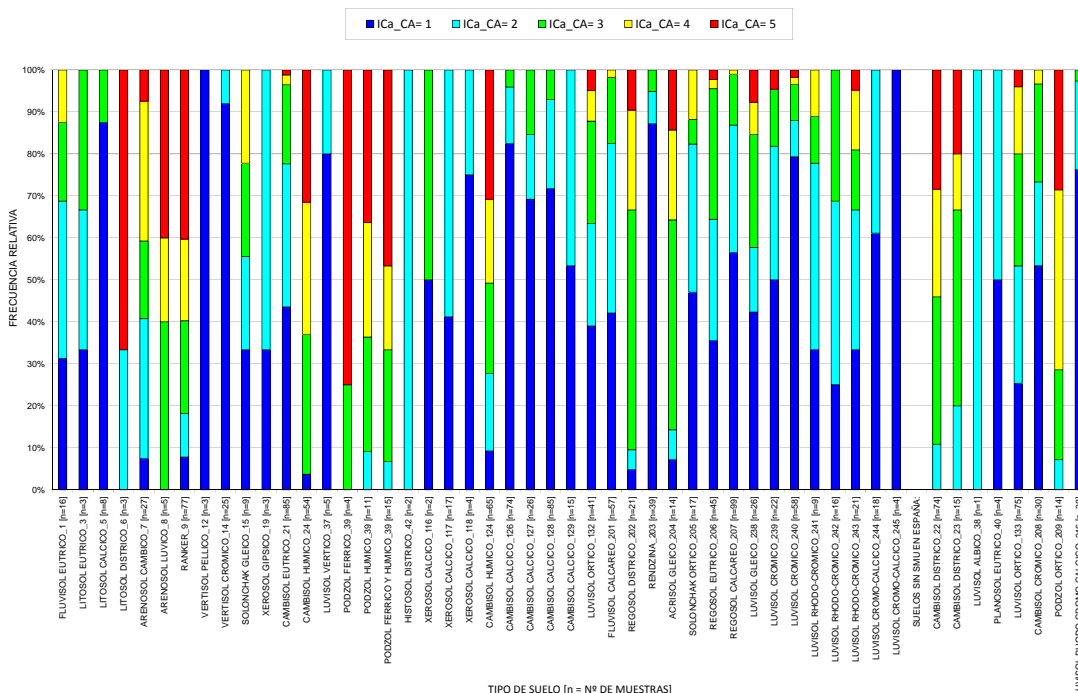
REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA A RETENCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL Sr90 PARA CADENA ALIMENTARIA (IFQsr_CA)



REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA AL CONTENIDO EN K PARA CADENA ALIMENTARIA (IK_CA)



REPRESENTATIVIDAD DE LOS TIPOS DE SUELOS PENINSULARES SEGÚN EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA ASOCIADA AL CONTENIDO EN CA PARA CADENA ALIMENTARIA (ICa_CA)



**ANEXO XI. VALORES DE LA MODA DE LOS ÍNDICES DE
VULNERABILIDAD CALCULADOS A PARTIR DE LOS PERFILES
DE SUELOS, EN FUNCIÓN DEL CODSUELO AL QUE
PERTENECEN**

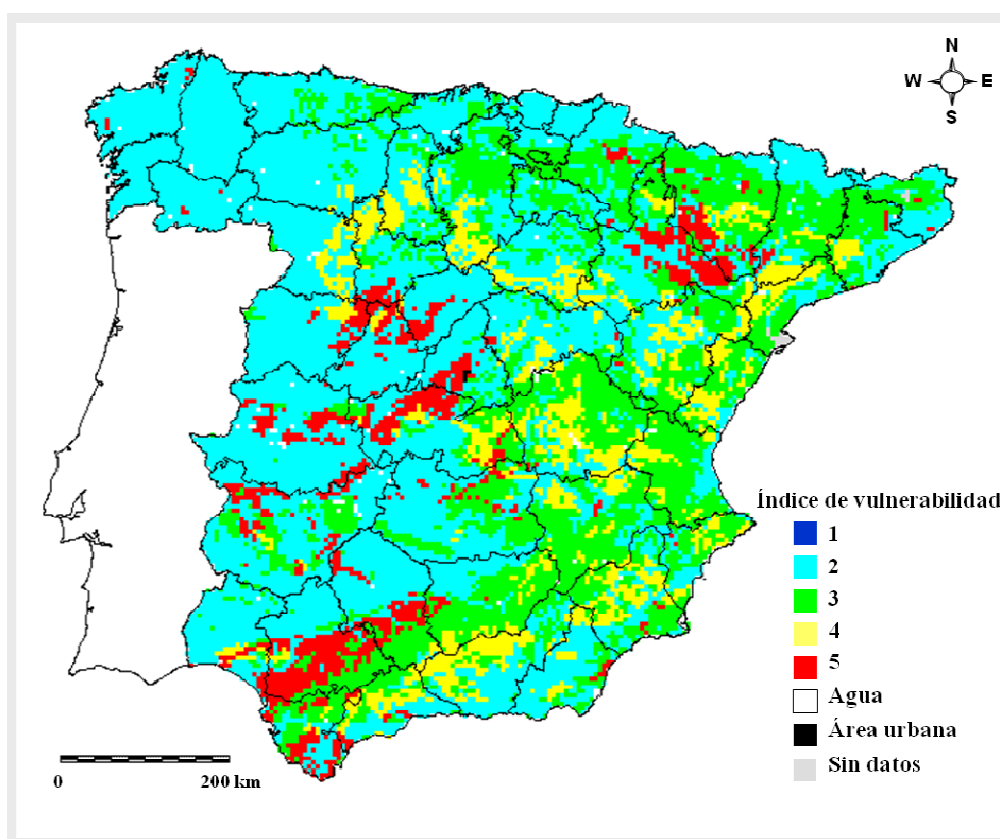
CODSUE14	TIPO DE SUELO	IF_IE	IF_CA	IH_IE	IH_CA	IFQCs_IE	IFQCs_CA	IFQCs_IE	IFQCs_CA	IK_CA	ICa_CA	T_Cs_IE	T_Sr_IE	T_Cs_CA	T_Sr_CA
1	Je FLUVISOL EUTRICO_1 [n=16]	2	4	2	2	1	5	5	2	3	2	2	3	4	3
3	Ie LITOSOL EUTRICO_3 [n=3]	3	3	2	2	5	4	1	4	5	3	4	4	3	3
5	Ic LITOSOL CALCICO_5 [n=8]	3	3	1	1	4	5	2	1	2	1	3	3	2	2
6	Id LITOSOL DISTRICO_6 [n=3]	2	4	1	1	4	2	5	4	2	5	3	2	3	4
7	Qc ARENOSOL CAMBICO_7 [n=27]	2	4	1	1	1	5	5	1	4	4	1	3	4	3
8	Ql ARENOSOL LUVICO_8 [n=5]	2	4	1	1	1	4	5	3	3	5	1	2	4	4
9	U RANKER_9 [n=77]	2	4	2	2	1	2	5	4	5	5	3	3	3	4
12	Vp VERTISOL PELLICO_12 [n=3]	5	1	4	5	4	4	2	1	2	1	8	5	3	2
14	Vc VERTISOL CROMICO_14 [n=25]	5	1	3	3	4	5	2	1	2	1	4	5	2	1
15	Zg SOLONCHAK GLEICO_15 [n=9]	5	1	1	1	4	5	5	1	4	1	4	4	2	2
19	Xy XEROSOL GIPSICO_19 [n=3]	5	4	3	3	5	4	1	2	2	2	5	4	3	2
21	Be CAMBISOL EUTRICO_21 [n=85]	2	4	1	2	1	4	5	1	4	1	1	3	4	2
22	Bd CAMBISOL DISTRICO_22 [n=74]	3	4	2	2	4	2	2	4	4	3	1	3	3	4
23	Bd CAMBISOL DISTRICO_23 [n=15]	2	4	2	2	1	3	5	3	4	3	3	3	4	4
24	Bh CAMBISOL HUMICO_24 [n=54]	2	4	2	2	1	2	5	4	5	3	2	2	4	4
37	Lv LUVISOL VERTICO_37 [n=5]	5	1	3	4	5	5	1	1	2	1	4	5	2	2
38	Lga LUVISOL ALBICO_38 [n=1]	4	2	1	2	1	3	3	3	4	2	2	3	3	2
39	Phf PODZOL HUMICO_39 [n=11]	2	4	3	2	1	1	5	5	4	5	3	2	4	4
39	Phf PODZOL FERRICO Y HUMICO_39 [n=15]	2	4	3	3	1	1	5	4	4	5	3	2	4	4
39	Phf PODZOL FERRICO_39 [n=4]	3	3	1	3	1	2	5	4	3	5	3	3	4	4
40	We PLANOSOL EUTRICO_40 [n=4]	3	3	2	2	5	4	1	2	2	2	4	3	3	3
42	Od HISTOSOL DISTRICO_42 [n=2]	5	4	5	5	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3
116	Xk XEROSOL CALCICO_116 [n=2]	2	4	1	2	5	5	5	1	3	3	3	3	4	2
117	Xk XEROSOL CALCICO_117 [n=17]	3	3	1	1	5	5	1	1	3	2	3	3	2	2
118	Xk XEROSOL CALCICO_118 [n=4]	2	4	1	2	5	5	2	1	3	1	3	3	3	2
124	Bh CAMBISOL HUMICO_124 [n=65]	3	4	3	3	4	2	2	4	5	5	4	2	4	4
126	Bk CAMBISOL CALCICO_126 [n=74]	3	4	1	1	4	5	2	1	3	1	3	3	2	2
127	Bk CAMBISOL CALCICO_127 [n=26]	4	2	1	2	4	5	2	1	3	1	4	4	3	1
128	Bk CAMBISOL CALCICO_128 [n=85]	3	3	1	2	4	5	2	1	2	1	3	4	2	2
129	Bk CAMBISOL CALCICO_129 [n=15]	3	3	2	2	4	5	2	1	3	1	3	4	3	2
132	Lo LUVISOL ORTICO_132 [n=41]	2	4	1	1	1	4	2	2	4	1	1	3	3	3
133	Lo LUVISOL ORTICO_133 [n=75]	2	4	1	1	1	3	5	4	4	2	1	2	4	3
201	Jc FLUVISOL CALCAREO_201 [n=57]	2	4	1	1	1	5	1	1	3	1	3	3	2	2
202	Rd REGOSOL DISTRICO_202 [n=21]	2	4	1	2	1	3	5	4	3	3	1	2	4	3
203	E RENDZINA_203 [n=39]	2	4	1	1	4	5	2	1	3	1	3	3	3	2
204	Ag ACRISOL GLEICO_204 [n=14]	3	3	2	2	5	2	1	4	5	3	4	3	3	4
205	Zo SOLONCHAK ORTICO_205 [n=17]	4	2	2	2	5	5	2	1	3	1	3	4	3	2
206	Re REGOSOL EUTRICO_206 [n=45]	2	4	1	1	1	3	5	2	4	1	1	3	4	2
207	Rc REGOSOL CALCAREO_207 [n=99]	3	3	1	1	4	5	2	1	3	1	3	3	2	2
208	Bc CAMBISOL CROMICO_208 [n=30]	2	4	2	2	4	5	2	1	4	1	3	3	3	2
209	Po PODZOL ORTICO_209 [n=14]	2	4	2	2	1	1	5	4	5	4	2	3	4	4
238	Lg LUVISOL GLEICO_238 [n=26]	2	4	1	1	1	3	2	3	4	1	1	2	3	3
239	Lc LUVISOL CROMICO_239 [n=22]	2	4	1	1	1	5	2	1	4	1	1	3	3	3
240	Lc LUVISOL CROMICO_240 [n=58]	2	4	2	3	4	5	2	1	3	1	3	4	3	2
241	Lcr LUVISOL RHODO-CROMICO_241 [n=9]	2	4	1	2	1	4	3	3	4	2	1	3	4	3
242	Lcr LUVISOL RHODO-CROMICO_242 [n=16]	2	4	1	3	4	3	2	4	4	2	4	3	4	3
243	Lcr LUVISOL RHODO-CROMICO_243 [n=21]	2	4	1	2	4	3	2	4	4	2	3	3	3	2
244	Lkc LUVISOL CROMO-CALCICO_244 [n=18]	5	3	1	2	4	5	2	1	3	1	3	3	2	2
245	Lkc LUVISOL CROMO-CALCICO_245 [n=4]	5	1	3	4	4	5	1	2	2	1	4	4	4	2
246	Lkcr LUVISOL RHODO-CROMO-CALCICO_246 [n=38]	4	3	2	2	4	5	2	1	2	1	3	3	3	2

XI.a.- Valor de la moda de cada índice de vulnerabilidad correspondiente a cada CODSUELO de los perfiles que tienen representación en el mapa de suelos SGDBE v.3 (EC, 1995)

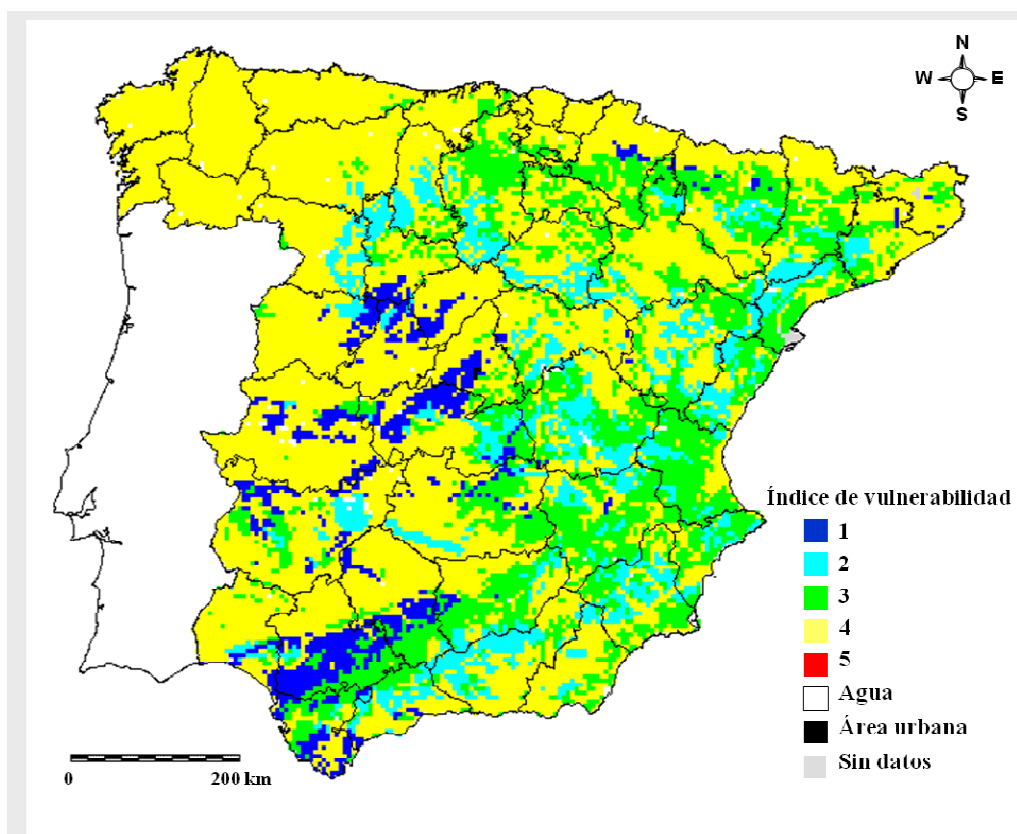
CODSUELO14	TIPO DEL SUELO	IF_IE	IF_CA	IH_IE	IH_CA	IFQs_IE	IFQsr_IE	IFQs_CA	IFQsr_CA	IK_CA	ICa_CA	T_Cs_IE	T_Sr_IE	T_Cs_CA	T_Sr_CA
1001	Ah ACRISOL HUMICO_1001 [n=44]	2	4	2	2	2	2	5	4	3	5	2	2	4	4
1002	Ao ACRISOL ORTICO_1002 [n=38]	2	4	1	2	1	2	3	4	4	3	1	2	3	4
1003	Th ANDOSOL HUMICO_1003 [n=3]	5	1	4	3	2	2	5	2	3	2	4	4	3	2
1004	Tm ANDOSOL MOLICO_1004 [n=1]	3	3	2	1	1	4	5	3	2	2	2	3	3	2
1005	Qa ARENOSOL ALBICO_1005 [n=5]	2	5	1	1	1	5	5	1	5	3	1	3	4	3
25	Bg CAMBISOL GLEICO_25 [n=31]	2	4	3	2	4	2	4	4	4	3	4	2	4	4
1006	Bv CAMBISOL VERTICO_1006 [n=8]	5	1	3	4	5	5	1	1	3	1	5	5	2	2
1007	Ch CHERNOZEM HAPLICO_1007 [n=3]	4	4	1	3	4	4	5	1	4	1	4	4	4	2
1008	Jd FLUVISOL DISTRICO_1008 [n=12]	2	4	1	2	1	2	5	4	4	3	1	2	4	4
1009	Jt FLUVISOL TIONICO_1009 [n=2]	5	2	3	3	4	4	5	4	2	3	4	4	3	3
1010	Gc GLEYSOL CALCAREO_1010 [n=4]	4	2	2	2	1	5	1	3	1	4	4	4	4	2
1011	Gd GLEYSOL DISTRICO_1011 [n=4]	3	3	3	3	4	2	1	4	5	4	3	3	3	4
1012	Ge GLEYSOL EUTRICO_1012 [n=7]	2	4	3	3	2	4	4	2	1	2	3	4	3	3
1013	Gh GLEYSOL HUMICO_1013 [n=14]	2	4	3	2	4	2	1	4	5	4	3	3	3	4
1014	Gm GLEYSOL MOLICO_1014 [n=3]	4	4	3	3	5	5	5	4	3	1	4	4	4	3
1015	Kk KASTANOZEM CALCICO_1015 [n=15]	2	4	1	1	4	5	2	1	3	1	4	4	3	2
1016	Kh KASTANOZEM HAPLICO_1016 [n=7]	5	3	2	2	4	4	2	1	4	1	4	4	3	3
1017	Kl KASTANOZEM LUVICO_1017 [n=4]	5	1	3	2	4	4	2	2	5	3	4	4	4	3
1018	Hc PHAEZEM CALCAREO_1018 [n=15]	5	1	3	2	4	5	2	1	2	1	3	5	2	2
1019	Hg PHAEZEM GLEICO_1019 [n=2]	2	4	3	2	4	3	5	3	4	1	3	3	4	3
1020	Hh PHAEZEM HAPLICO_1020 [n=19]	2	4	1	2	1	3	5	2	2	1	1	3	3	2
1021	Hi PHAEZEM LUVICO_1021 [n=5]	4	4	3	3	1	5	3	1	2	1	4	3	3	2
41	Wd PLANOSOL DISTRICO_41 [n=1]	5	1	3	3	4	4	2	2	3	1	4	4	2	2
1022	Wm PLANOSOL MOLICO_1022 [n=1]	3	3	5	4	2	2	3	2	4	1	4	4	4	3
1023	Pg PODZOL GLEICO_1023 [n=2]	2	4	4	4	4	2	5	5	5	5	3	3	5	5
1024	Pl PODZOL LEPTICO_1024 [n=1]	2	4	2	1	1	2	5	4	4	3	2	2	4	3
1025	Pp PODZOL PLACICO_1025 [n=1]	2	4	1	1	1	2	5	4	3	5	1	2	4	4
1026	Dd PODZOLUVISOL DISTRICO_1026 [n=1]	2	4	2	2	2	3	4	3	1	2	2	3	3	3
1027	SOLONCHAK MOLICO_1027 [n=1]	5	1	2	3	4	5	2	1	1	2	4	4	2	2
1028	Sg SOLONETZ GLEICO_1028 [n=1]	5	1	2	2	4	5	2	1	3	2	4	4	2	1
1029	So SOLONETZ ORTICO_1029 [n=9]	3	3	1	3	1	5	3	1	5	5	4	4	4	3
1030	Xk XEROSOL HAPLICO_1030 [n=2]	3	5	4	4	3	5	3	2	3	2	3	4	4	3
1031	Xk XEROSOL LUVICO_1031 [n=1]	2	4	3	3	5	5	2	1	1	1	4	4	3	2
1032	YERMOSOL CALCICO_1032 [n=2]	4	3	3	3	5	5	2	1	5	2	4	4	3	2
1033	YERMOSOL HAPLICO_1033 [n=1]	5	1	2	2	4	5	2	1	3	2	4	4	2	1
1034	YERMOSOL LUVICO_1034 [n=1]	3	3	1	2	4	5	1	1	3	2	3	3	2	2

XI.b.- Valor de la moda de cada índice de vulnerabilidad correspondiente a cada CODSUELO de los perfiles que no tienen representación en el mapa de suelos SGDBE v.3
(EC, 1995)

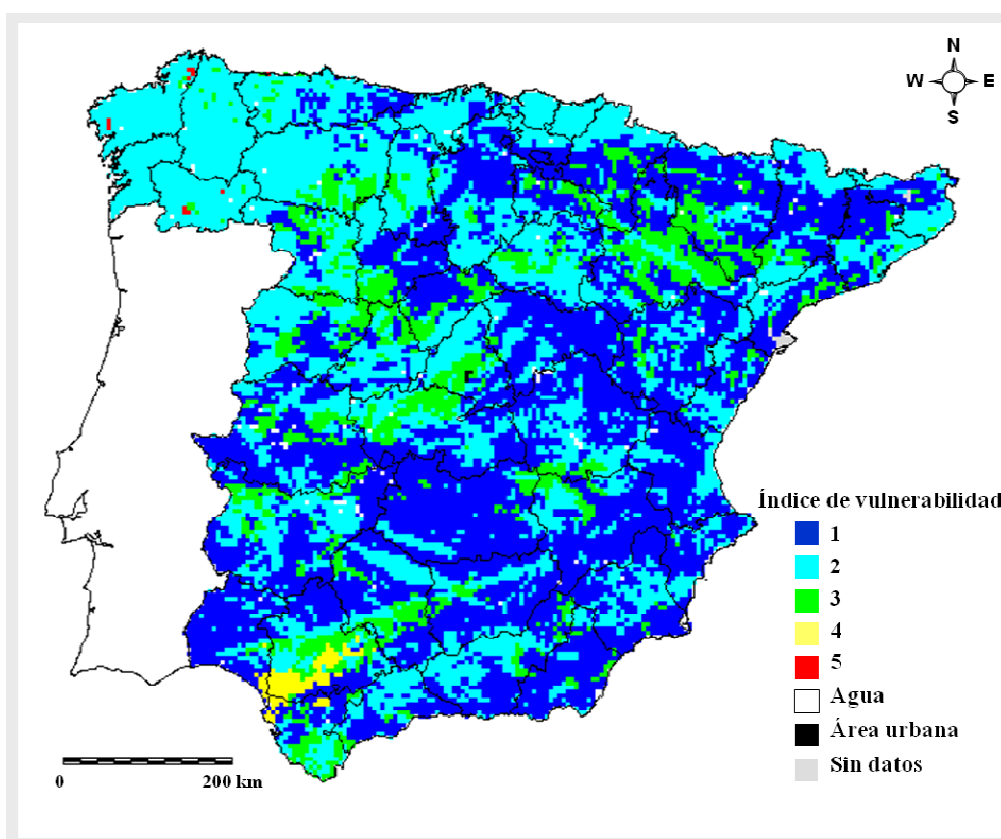
**ANEXO XII. MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DE LOS
SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES DE LA EDICIÓN DEL
AÑO 2000 (TRUEBA, Y OTROS, 2000A)**



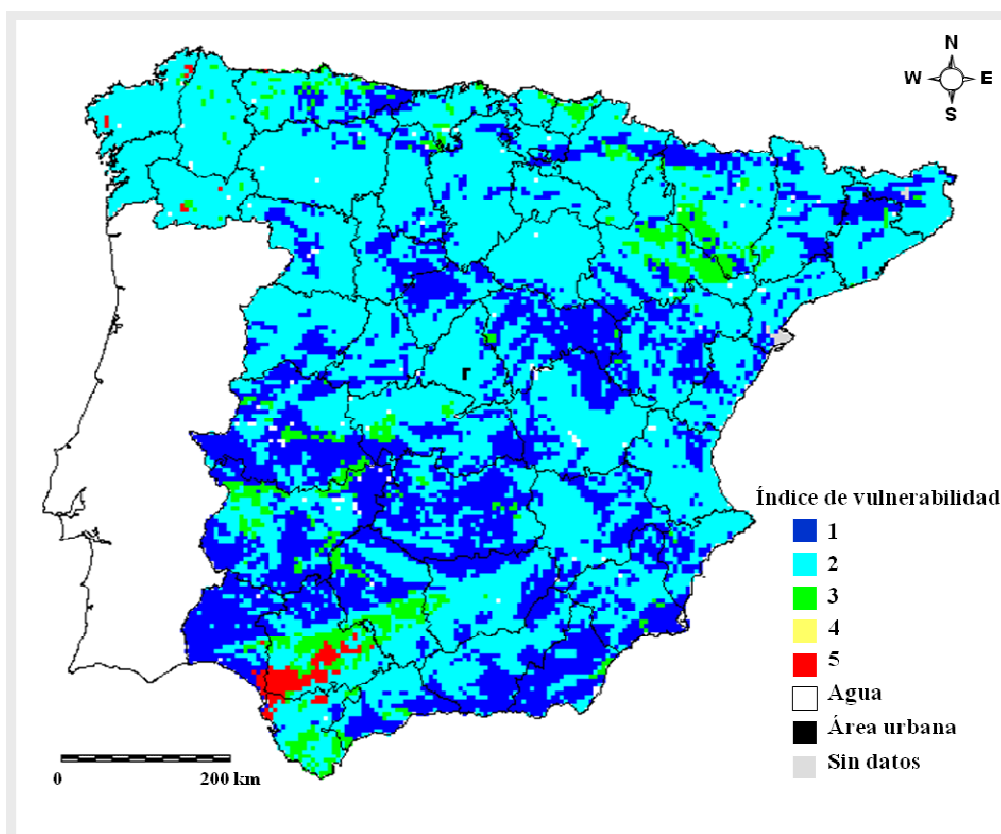
XII.a.- Mapa del índice de vulnerabilidad IF_IE (Trueba, y otros, 2000a)



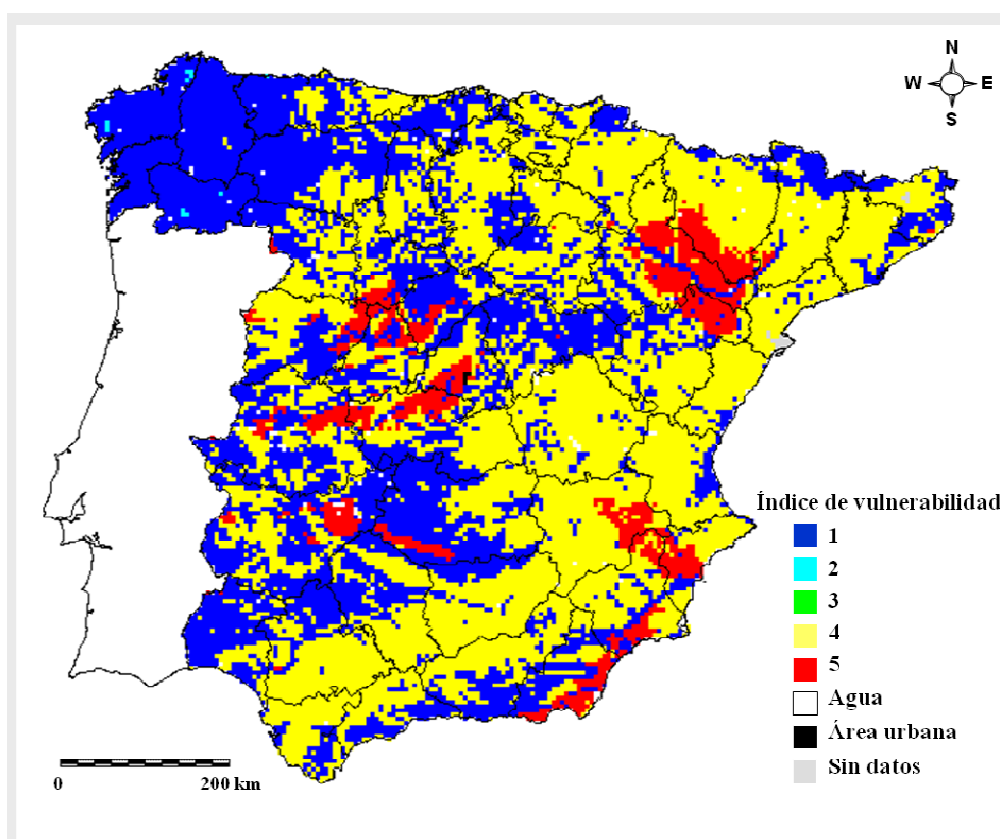
XII.b.- Mapa del índice de vulnerabilidad IF_CA (Trueba, y otros, 2000a)



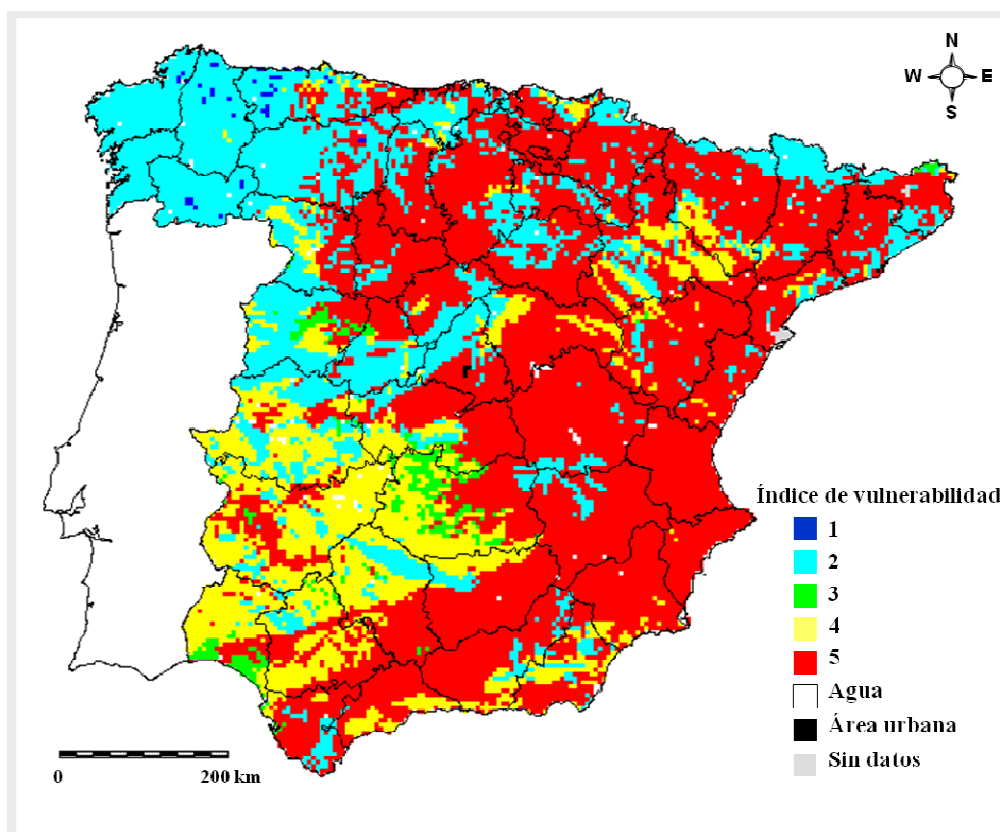
XII.c.- Mapa del índice de vulnerabilidad IH_IE (Trueba, y otros, 2000a)



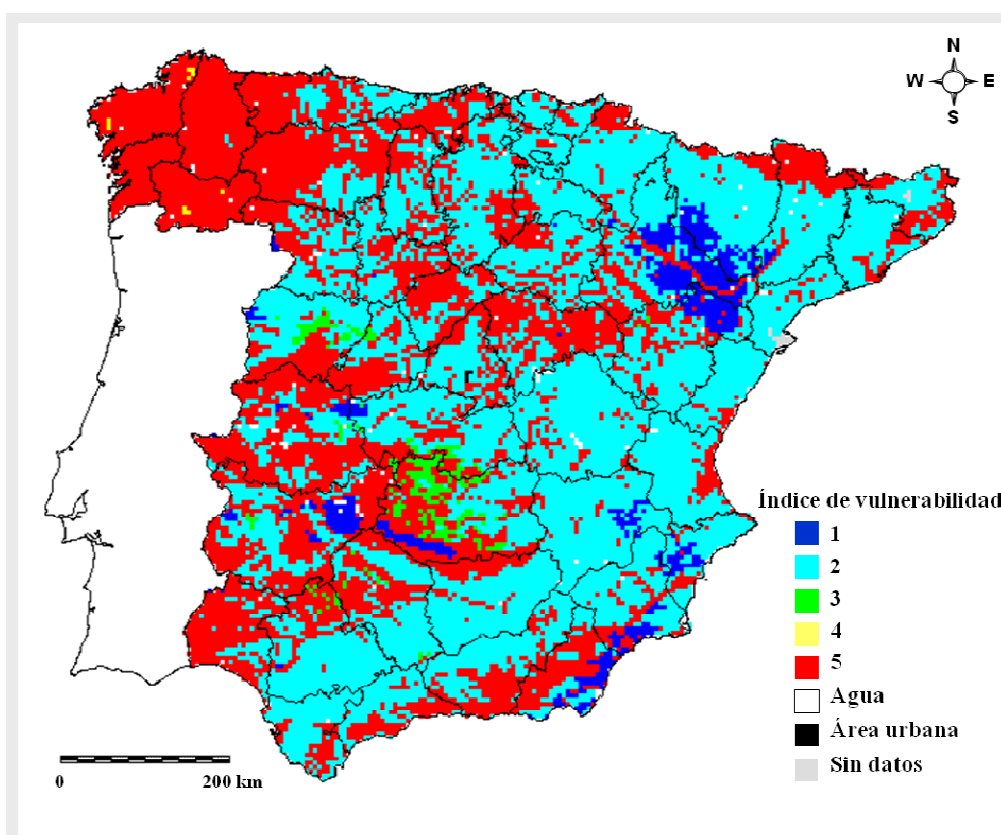
XII.d.- Mapa del índice de vulnerabilidad IH_CA (Trueba, y otros, 2000a)



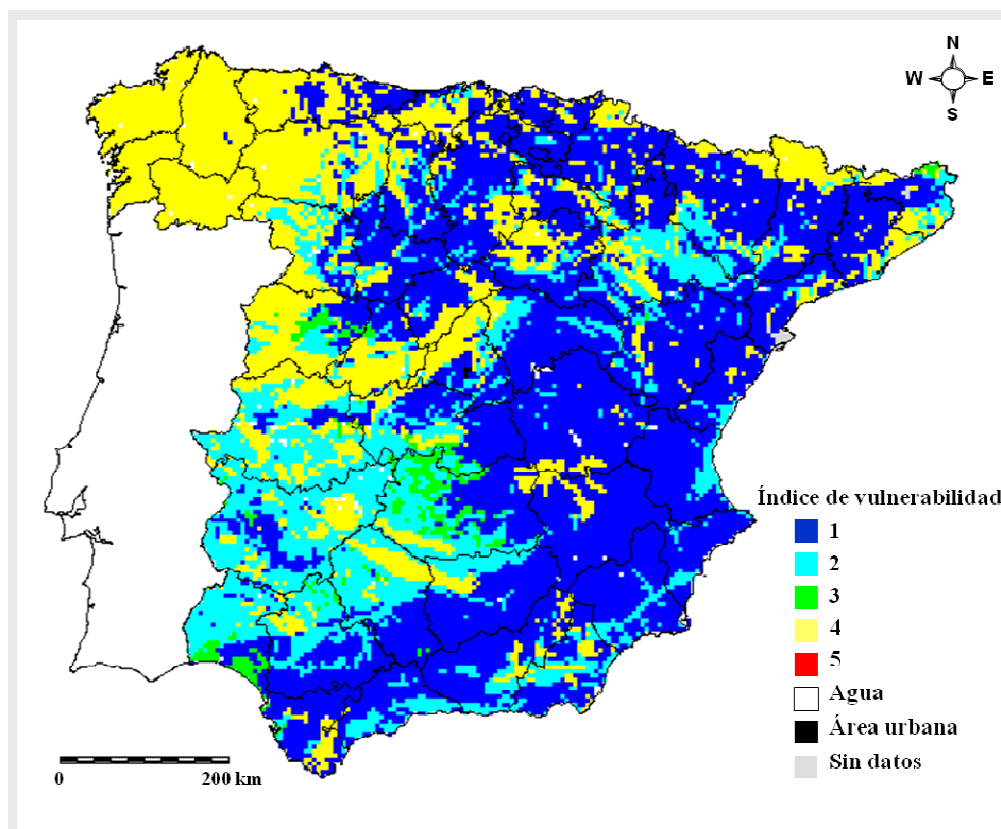
XII.e.- Mapa del índice de vulnerabilidad IFQCs_IE (Trueba, y otros, 2000a)



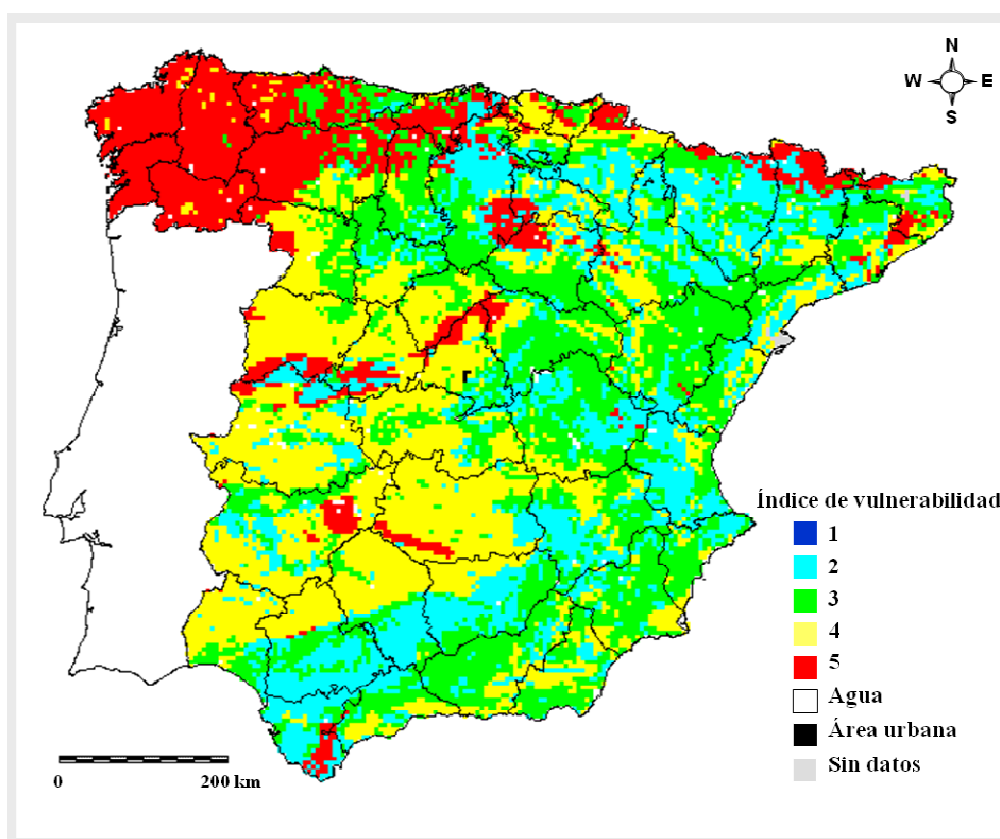
XII.f.- Mapa del índice de vulnerabilidad IFQSr_IE (Trueba, y otros, 2000a)



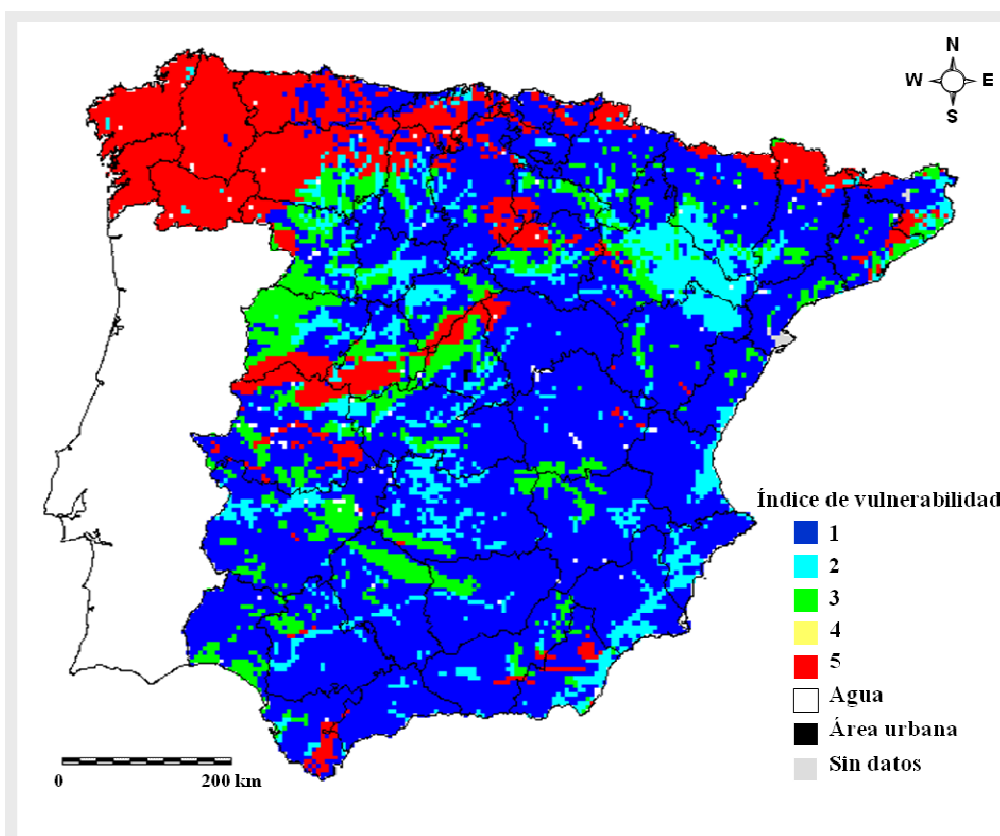
XII.g.- Mapa del índice de vulnerabilidad IFQCs_CA (Trueba, y otros, 2000a)



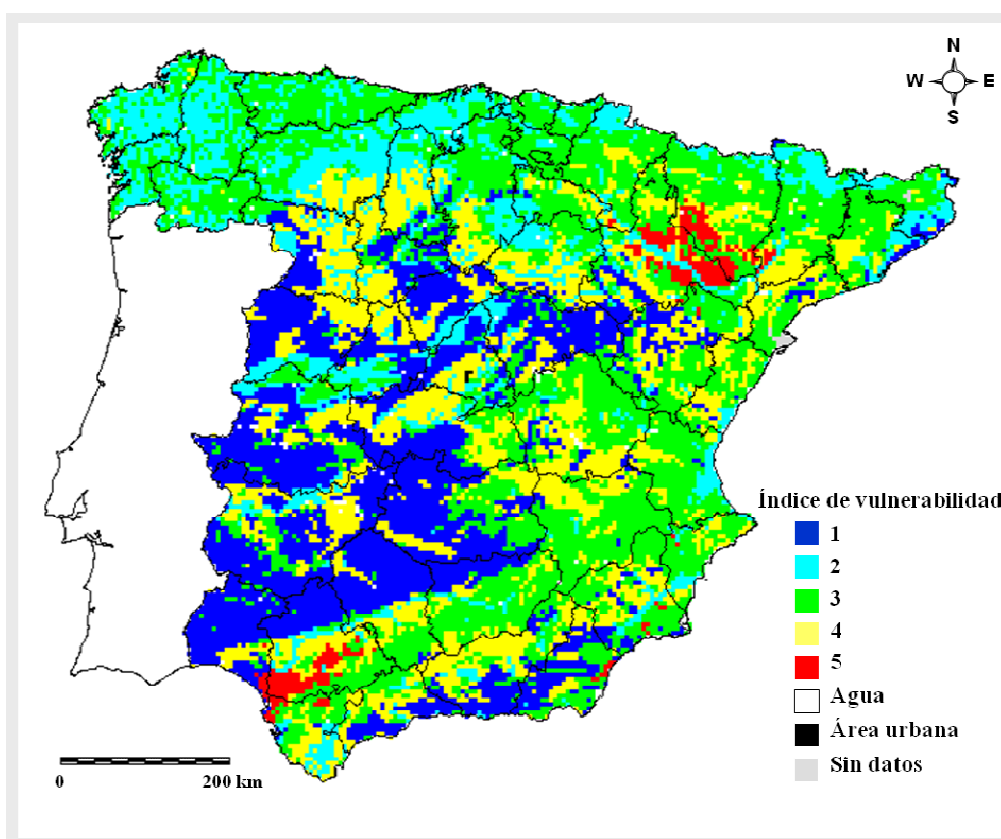
XII.h.- Mapa del índice de vulnerabilidad IFQSr_CA (Trueba, y otros, 2000a)



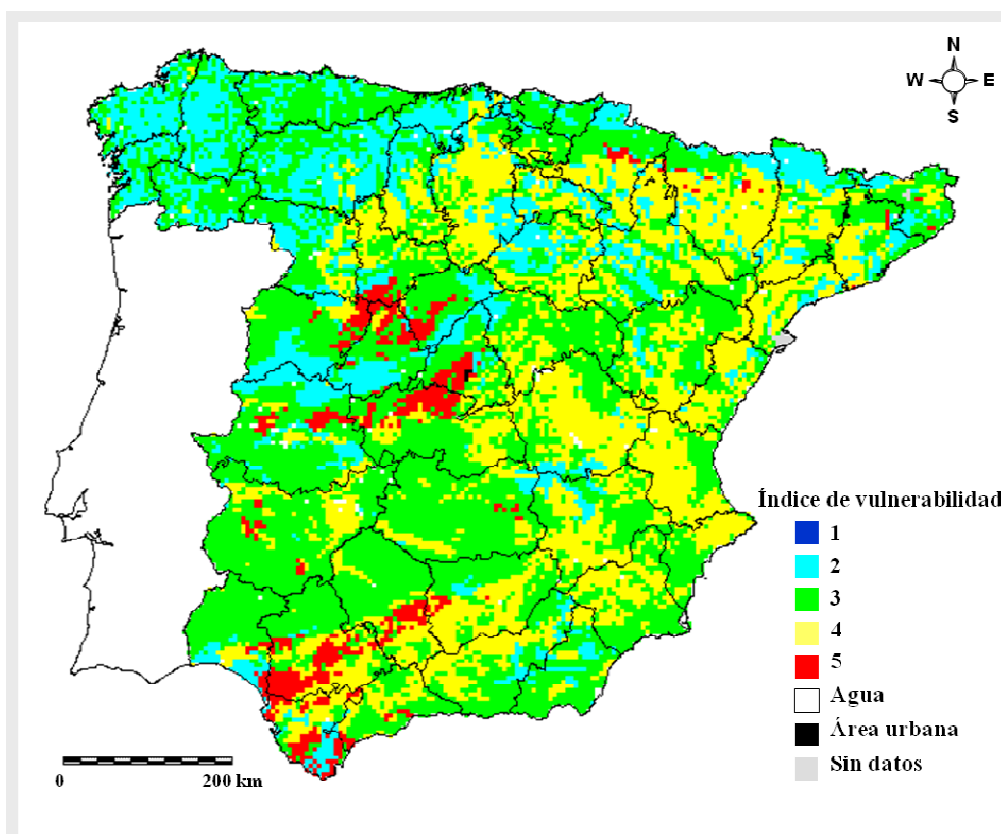
XII.i.- Mapa del índice de vulnerabilidad IK_CA (Trueba, y otros, 2000a)



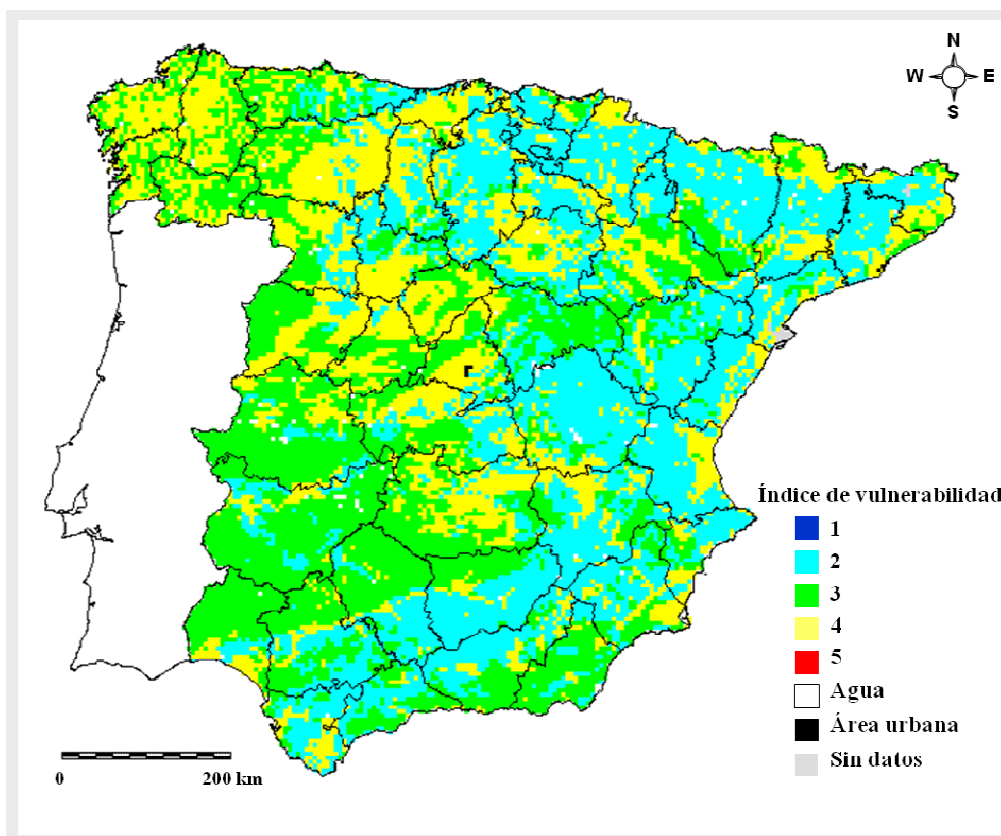
XII.j.- Mapa del índice de vulnerabilidad ICa_CA (Trueba, y otros, 2000a)



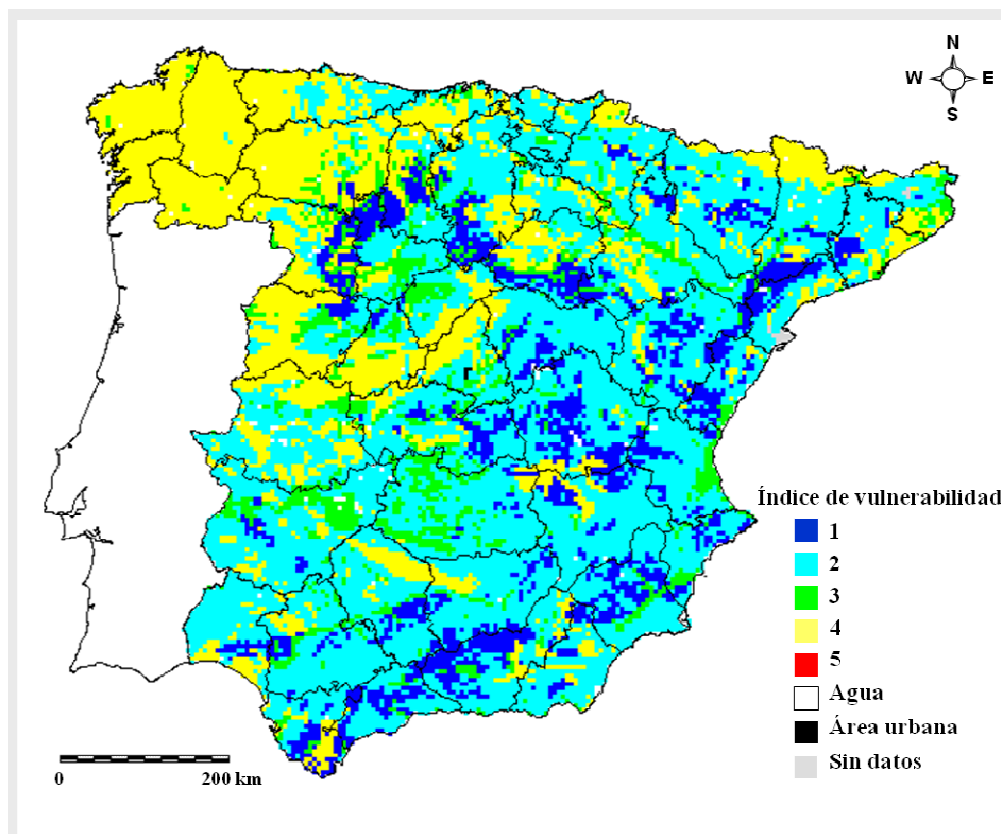
XII.k.- Mapa del índice de vulnerabilidad T_Cs_IE (Trueba, y otros, 2000a)



XII.l.- Mapa del índice de vulnerabilidad T_Sr_IE (Trueba, y otros, 2000a)

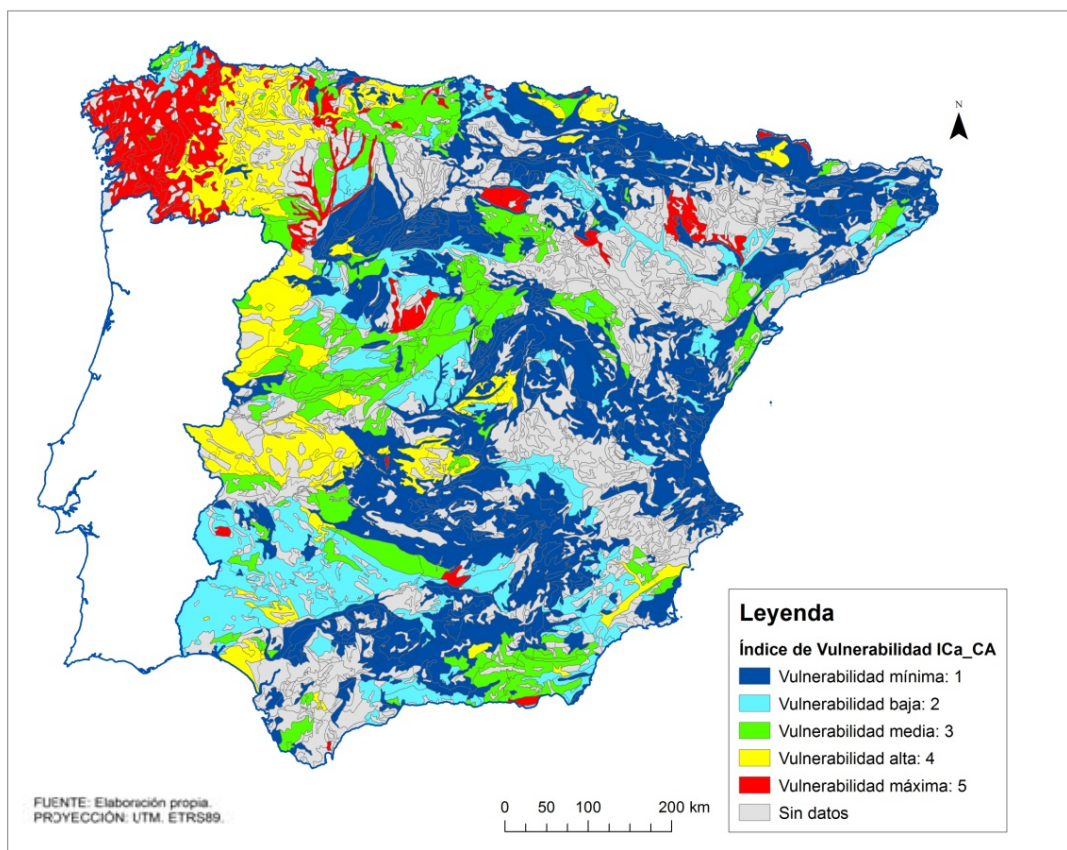
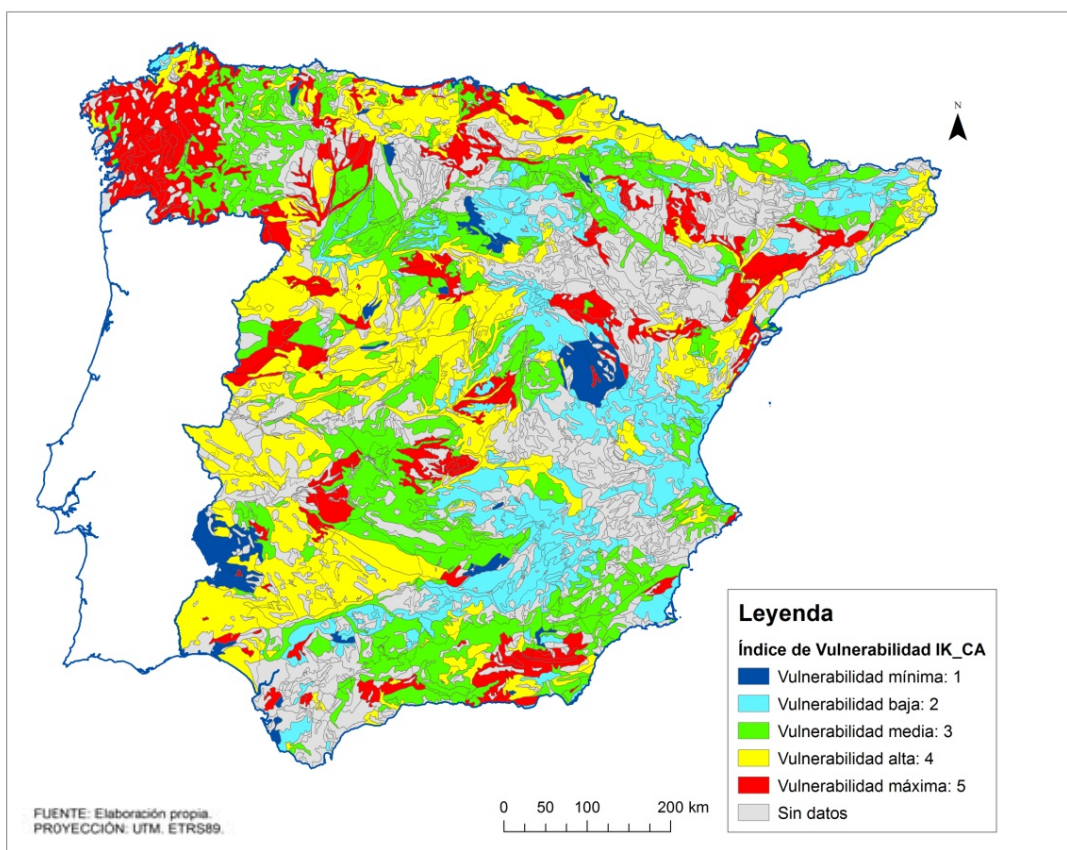


XII.m.- Mapa del índice de vulnerabilidad T_Cs_CA (Trueba, y otros, 2000a)

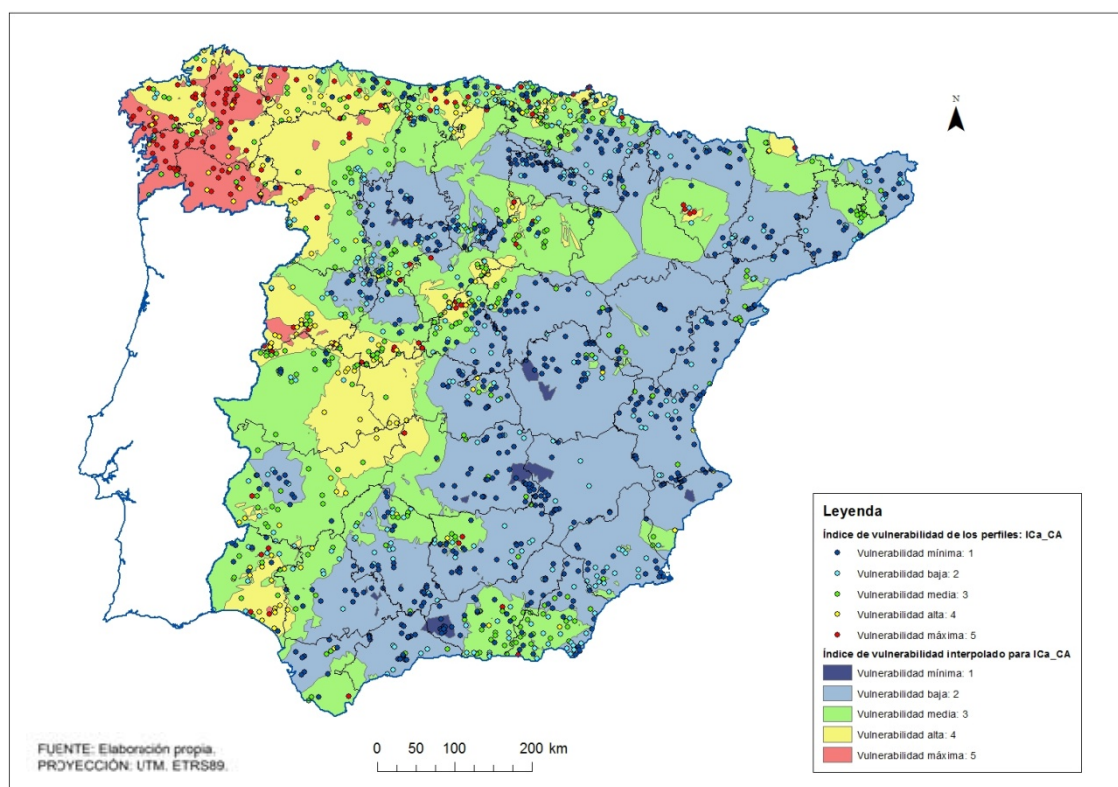
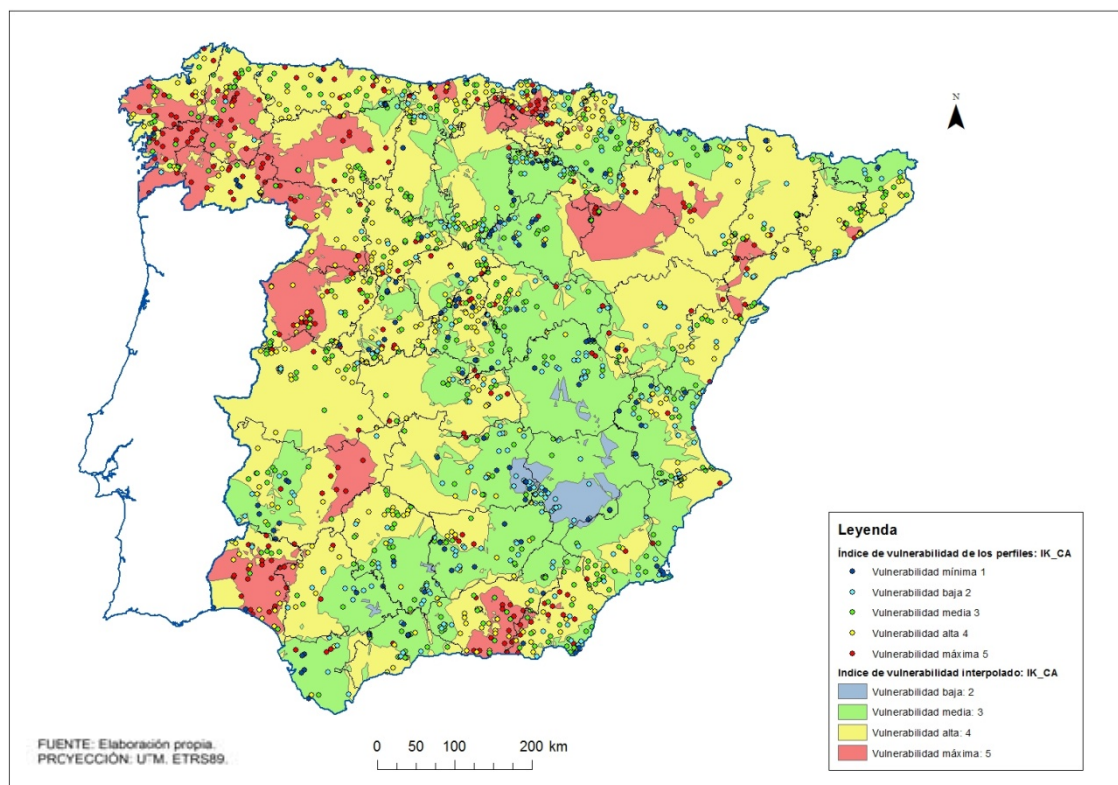


XII.n.- Mapa del índice de vulnerabilidad T_Sr_CA (Trueba, y otros, 2000a)

ANEXO XIII. MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ELABORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE UNIÓN ESPACIAL

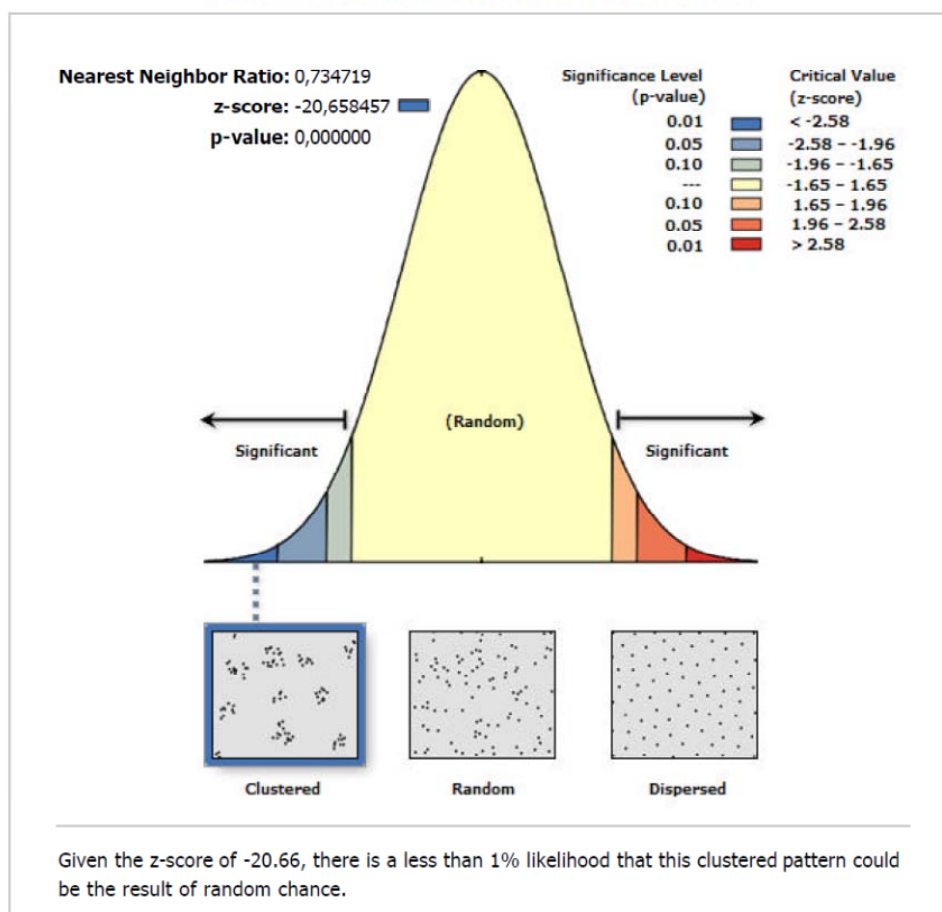


ANEXO XIV. MAPAS DE VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA ELABORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN



**ANEXO XV. INFORME DE RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA AVERAGE
NEAREST NEIGHBOR DE ARCMAP, PARA LA BASE DE
DATOS DE PERFILES DE SUELOS ACTUAL**

Average Nearest Neighbor Summary



Average Nearest Neighbor Summary

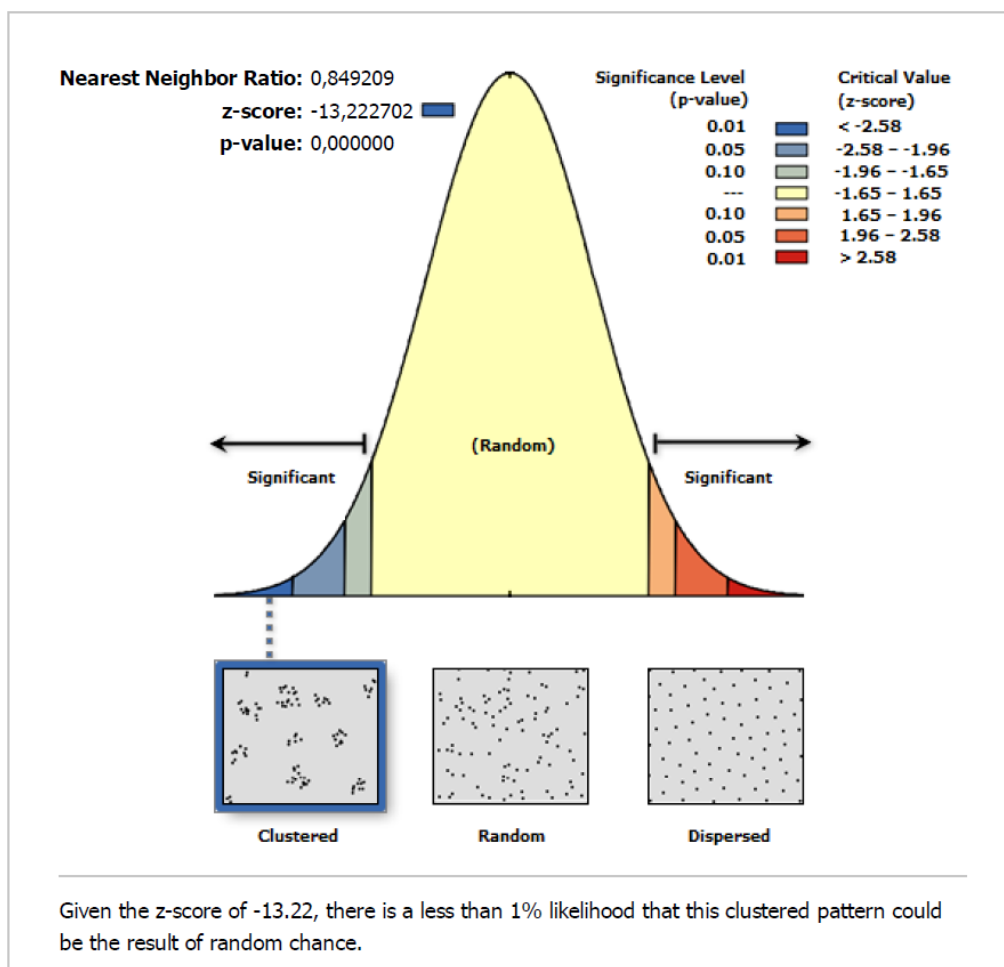
Observed Mean Distance:	6341,2479 Meters
Expected Mean Distance:	8630,8449 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,734719
z-score:	-20,658457
p-value:	0,000000

Dataset Information

Input Feature Class:	\\cendat\e4785\Mis Documentos\NERIS_14 \500Salida_PI\ETRS89 \1657PerfilesETRS89.shp
Distance Method:	EUCLIDEAN
Study Area:	493729554294.000000
Selection Set:	False

**ANEXO XVI. INFORME DE RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA AVERAGE
NEAREST NEIGHBOR DE ARCMAP, PARA PROPUESTA DE
AMPLIACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE PERFILES DE
SUELOS.**

Average Nearest Neighbor Summary



Average Nearest Neighbor Summary

Observed Mean Distance:	6509,0255 Meters
Expected Mean Distance:	7664,8126 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,849209
z-score:	-13,222702
p-value:	0,000000

Dataset Information

Input Feature Class:	2101Ptos
Distance Method:	EUCLIDEAN
Study Area:	493729554294,000000
Selection Set:	False

**ANEXO XVII. ZONAS DE PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE
PROTECCIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES
REPRESENTADAS SOBRE LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD
RADIOLÓGICA DE LOS SUELOS PENINSULARES ESPAÑOLES**

